

UFPA

PPGEC

Universidade Federal do Pará



Raphael da Silva Martins

Avaliação da pegada hídrica na cultura do Açaí em Belém-PA, Brasil

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Instituto de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Dissertação orientada pela Prof.^a Dr.^a Mariane Furtado Gonçalves

Belém – Pará – Brasil
2024

Raphael da Silva Martins

Avaliação da pegada hídrica na cultura do Açaí em Belém-PA, Brasil

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Mariane Furtado Gonçalves.

Belém – Pará – Brasil
2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a)
autor(a)

M379a Martins, Raphael da Silva.
Avaliação da pegada hídrica na cultura do Açaí em
Belém-PA, Brasil / Raphael da Silva Martins. — 2024.
118 f. : il. color.

Orientador(a): Prof^a. Dra. Mariane Furtado Gonçalves
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, Belém, 2024.

1. Recursos hídricos. 2. Escassez hídrica. 3.
Desenvolvimento sustentável. 4. Euterpe oleracea. I.
Título.

CDD 620.8

AVALIAÇÃO DA PEGADA HÍDRICA NA CULTURA DO AÇAÍ EM BELÉM-PA, BRASIL

AUTOR:

RAPHAEL DA SILVA MARTINS

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À BANCA
EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL DO INSTITUTO DE
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO
PARÁ, COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO
GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL NA
ÁREA DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO
AMBIENTAL.

APROVADO EM: 11 / 09 / 2024.

BANCA EXAMINADORA: _____



Documento assinado digitalmente
MARIANE FURTADO GONCALVES
Data: 11/09/2024 18:23:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª. Dra. Mariane Furtado Gonçalves
Orientadora (UFPA)

Documento assinado digitalmente



JOSE DANTAS NETO
Data: 11/09/2024 14:37:01-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. José Dantas Neto

Documento assinado digitalmente



JOSE LUIS SAID COMETTI
Data: 11/09/2024 18:34:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. José Luís Said Cometti

Membro Externo (CDBH)

Documento assinado digitalmente



PAULA FERNANDA PINHEIRO RIBEIRO PAIVA
Data: 12/09/2024 11:46:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª. Dra. Paula Fernanda Pinheiro Ribeiro Paiva
Membro Externo (UFRA)

Documento assinado digitalmente



CLAUDIO JOSE CAVALCANTE BLANCO
Data: 12/09/2024 12:06:50-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Claudio José Cavalcante Blanco, Ph.D.
Membro Interno (UFPA)

Visto:

Prof. Dr. Dênio Ramam Carvalho de Oliveira
Coordenador do PPGE / ITEC / UFPA

À minha família, em especial à minha mãe
Ana Lúcia, ao meu pai Nelson e à minha
avó Raimunda (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer à minha família, por todas as palavras de incentivo e motivação nas horas mais determinantes, pelos momentos de apoio e paciência durante as adversidades, pelos momentos de celebração e regozijo nas conquistas e realizações, pela educação, por todo amor e dedicação que sempre tiveram comigo e por estarem ao meu lado nessa e em outras tantas jornadas da vida, deixo registrado o meu profundo e sincero sentimento de gratidão à minha mãe Ana Lúcia, ao meu pai Nelson e à minha avó Raimunda (*in memoriam*).

Agradeço aos meus amigos e colegas de todas as turmas as quais tive a oportunidade de participar, com os quais desbravei todas as possibilidades, desafios e oportunidades que o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará nos apresentou. Agradeço aos amigos e colegas do Grupo de Pesquisa em Água, Energia e Sustentabilidade da UFPA – GAES onde pude trocar valiosas experiências, desenvolver novos conhecimentos, melhorar habilidades e partilhar a convivência do Programa. À Ayesha Tavares, à Diana Figueiredo, à Roberta Albuquerque e ao Ramon Flexa, amigos com quem estive mais próximo durante o Programa e com os quais pude contar com suas preciosas contribuições durante a caminhada.

Agradeço ao corpo docente do Programa, com quem tive a honra de estudar e aprender, à professora Risete Braga por sua generosidade, incentivo e inspiração, à minha orientadora Mariane Gonçalves, por toda a sua dedicação e comprometimento com a árdua tarefa de orientação, pela paciência, suporte e motivação na arte de ensinar, pelos princípios acadêmicos e profissionais repassados, ainda pelo apoio e inspiração que me passou durante o curso, sou grato por sua mentoria e pelos ensinamentos que foram fundamentais para esta obra.

Agradeço ao Paulo Lobato, proprietário do sítio Fruto da Fé, onde ocorreu uma parte prática deste estudo. Agradeço à Universidade Federal do Pará, ao Instituto de Tecnologia, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e todo seu corpo de membros e diretores, pela seriedade, pela capacidade de inovação, pelo comprometimento e pela busca da melhoria contínua em prol da excelência do Programa que tive a honra de participar.

“We don’t have a plan B because we also don’t have a planet B”.
(Ban Ki-moon, 2014)

RESUMO

A Amazônia brasileira um símbolo de destaque e visibilidade para iniciativas de desenvolvimento sustentável e o açaí um dos frutos nativos dessa região com maior representatividade dentro da sua biodiversidade, assim, faz-se necessário um estudo que aborde a temática do uso de recursos hídricos dentro dessa cadeia produtiva regional. Desse modo, esta pesquisa propôs uma avaliação da pegada hídrica na cultura do açaí em Belém, capital do Estado do Pará que é o maior produtor do fruto no Brasil. Para a avaliação da pegada hídrica do açaí na área de estudo foi utilizada a metodologia da organização *Water Footprint Network* (WFN), que considera a soma das componentes de água verde, azul e cinza para determinar o resultado da pegada hídrica total, obtida com o suporte do *software* Cropwat® 8.0 disponibilizado pela *Food and Agriculture Organization* (FAO). A área de estudo apresentou uma precipitação efetiva acumulada de 2.026,5 mm/ano e de forma relacionada observou-se uma demanda hídrica verde da palmeira do açaí de 14.525,0 m³/hectare, assim, foi possível aferir que a cultura do açaí de várzea apresenta uma pegada hídrica total de 4.964,8 m³/tonelada, sendo composta 98% de água verde, 2% de água cinza e de nenhuma água azul incorporada ao seu processo de produção agrícola. A avaliação da pegada hídrica total anual do açaí indica um consumo de água pouco significativo diante da boa disponibilidade hídrica da região, assim como o volume de água da componente da pegada hídrica cinza é pouco expressivo, considerando a grande vazão e capacidade de diluição de efluentes da bacia hídrica da área de estudo. Todavia, mesmo com a ausência de escassez física de recursos hídricos, verificou-se que região possui uma realidade de serviços públicos, infraestruturas e instalações de saneamento básico inadequados, fatores qualitativos não avaliados pela metodologia, mas que podem contribuir para outras formas de escassez hídrica no local. Dessa forma, este estudo espera subsidiar informações importantes sobre a pegada hídrica do açaí e seus aspectos ambientais relacionados à água, a gestão de recursos hídricos e a formulação de políticas públicas na área de estudo.

Palavras-chave: Recursos hídricos; escassez hídrica; desenvolvimento sustentável; euterpe oleracea.

ABSTRACT

The Brazilian Amazon is a symbol of distinction and visibility for sustainable development initiatives and açai is one of greatest representation native fruit in this region within its biodiversity, so, it is necessary to conduct a study that addresses the issue of the use of water resources within this regional production chain. Therefore, this research proposed a water footprint assessment of açai cultivation in Belém, capital of the State of Pará, which is the largest producer of the fruit in Brazil. To assess the water footprint of açai in the study area, the methodology of the Water Footprint Network (WFN) organization was used, which considers the addition of the green, blue and gray water components to determine the result of the total water footprint, obtained with the Cropwat® 8.0 software support provided by the Food and Agriculture Organization (FAO). The study area has an accumulated effective precipitation of 2,026.5 mm/year, and, in a related way, a green water demand of the açai palm of 14,525.0 m³/hectare was observed, thus, it was possible to determine that the floodplain açai crop has a total water footprint of 4,964.8 m³/ton, being composed of 98% green water, 2% gray water, and no blue water incorporated into its agricultural production process. The assessment of the total annual water footprint of açai indicates that water consumption is not significant given the good water availability in the region, as well as the volume of water in the gray water footprint component is not relevant, considering the large flow rate and effluent dilution capacity of the water basin in the study area. However, even with the absence of physical scarcity of water resources, it was found that the region has inadequate public services, infrastructure and basic sanitation facilities, qualitative factors not assessed by the methodology, but which may contribute to other forms of water scarcity in the area. Therefore, this study hopes to provide important information on the water footprint of açai and its environmental aspects related to water, water resource management and the formulation of public policies in the study area.

Keywords: Water resources; water scarcity; sustainable development; euterpe oleracea.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico com a distribuição dos números de documentos por países mais produtivos.....	23
Figura 2 - Gráfico com a variação quantitativa de documentos em relação ao tempo.	24
Figura 3 - Gráfico de hierarquia das principais palavras-chaves encontradas.	25
Figura 4 - Nuvem de palavras de índices gerados a partir dos títulos citados.....	25
Figura 5 - Gráfico dos 10 principais autores pelo critério do número de documentos encontrados.....	27
Figura 6 - Gráfico das 10 fontes de publicações pelo critério do número de documentos encontrados.	27
Figura 7 - Estabelecimento batedor de açaí em Belém-PA.	29
Figura 8 - Atividade de colheita (A) e debulha (B) dos cachos de açaí.	32
Figura 9 - Desembarque das cestas de açaí transportas de barco para Belém-PA.	33
Figura 10 - Carregadores e comerciantes na feira do açaí em Belém-PA.	35
Figura 11 - Batedor de açaí em Belém-PA.	36
Figura 12 - Os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU.....	47
Figura 13 - Pegada Hídrica dos países no período de 1996 a 2005, por setor.	53
Figura 14 - Fluxo metodológico da pesquisa.	55
Figura 15 - Mapa de localização da área de estudo – Belém-PA.....	56
Figura 16 - Captura de tela do programa Climwat® 2.0 for Cropwat com o mapa de estações.	67
Figura 17 - Captura de tela do programa Cropwat® 8.0 – configuração da plantação.	69
Figura 18 - Captura de tela do programa Cropwat® 8.0 – configuração do solo.....	70
Figura 19 - Gráfico de relação entre evapotranspiração, precipitação efetiva e necessidade de irrigação do açaí.....	72
Figura 20 - Representação gráfica da pegada hídrica total do açaí.	76
Figura 21 - Gráfico de comparação entre as componentes da pegada hídrica nos estudos.....	82
Figura 22 - Gráfico de comparação entre a pegada hídrica total dos estudos.	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Publicações mais relevantes por número total de citações.	26
Tabela 2 - Dados bioclimáticos (normais climatológicas) e evapotranspiração de referência da área de estudo.....	68
Tabela 3 - Precipitação (normais climatológicas) e Precipitação efetiva da área de estudo.	68
Tabela 4 – Evapotranspiração, precipitação efetiva e necessidade de irrigação do açaí.	71
Tabela 5 - Produtividade do açaí no período de 2017 a 2022.	74
Tabela 6 - Pegada Hídrica verde, azul e cinza do setor agrícola na categoria de frutas e nozes.....	78
Tabela 7 - Pegada Hídrica verde, azul, cinza e total de culturas agrícolas por modelo de balanço hídrico dinâmico de grade.....	79
Tabela 8 - Pegada Hídrica verde, azul e cinza de culturas agrícolas diversas pelo mundo.	80
Tabela 9 - Pegada Hídrica verde, azul e cinza de culturas agrícolas diversas no Brasil.	81

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Configuração da coleta de dados nas bases de publicações.....	22
Quadro 2 - Variáveis utilizadas no cálculo da pegada hídrica cinza.....	75
Quadro 3 - Respostas à pegada hídrica na agricultura.	89

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação (1) - Pegada Hídrica total	59
Equação (2) - Pegada Hídrica verde	59
Equação (3) - Pegada Hídrica azul.....	59
Equação (4) - Demanda Hídrica da Cultura verde.....	60
Equação (5) - Demanda Hídrica da Cultura azul	60
Equação (6) - Pegada Hídrica cinza	61
Equação (7) - Evapotranspiração de referência	63
Equação (8) - Precipitação efetiva (P menor ou igual a 70mm)	63
Equação (9) - Precipitação efetiva (P maior que 70mm)	63
Equação (10) - Evapotranspiração da cultura	64
Equação (11) - Evapotranspiração verde	65
Equação (12) - Evapotranspiração azul	65
Equação (13) - Pegada Hídrica total anual.....	65
Equação (14) - Pegada Hídrica cinza anual	65

LISTA DE SÍMBOLOS

α	Coeficiente de lixiviação
Δ	Declinação da curva de saturação de vapor da água
γ	Fator psicrométrico
e_a	Pressão real de vapor
e_s	Pressão da saturação de vapor
\sum	Operador de somatório
\leq	Menor ou igual que
$>$	Maior que

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AICV	Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida
ANA	Agência Nacional de Águas / Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APP	Áreas de Preservação Permanente
C	Concentração
CAR	Cadastro Ambiental Rural
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
Cosanpa	Companhia de Saneamento do Pará
DHC	Demanda Hídrica da Cultura
DOI	Digital Object Identifier
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ET	Evapotranspiração
FAO	Food and Agriculture Organization / Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IPAM	Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia
IR	Necessidade de Irrigação
ISO	International Organization for Standardization
Kc	Coeficiente da Cultura
Mapa	Ministério da Agricultura e Pecuária
MMA	Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
NPK	Agroquímico de Nitrogênio, Fósforo e Potássio
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas / United Nations
PA	Estado do Pará
Peff	Precipitação efetiva
PERH	Plano Estadual de Recursos Hídricos
PEVS	Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura
PH	Pegada Hídrica
PMB	Prefeitura Municipal de Belém-PA

PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PNRH	Plano Nacional de Recursos Hídricos
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
Prtv	Produtividade
Q90	Vazão de permanência disponível 90% do tempo no rio
RH	Recursos Hídricos
SAFER	Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving
SEDAP/PA	Secretaria de Estado de Desenvolvimento Agropecuária e da Pesca do Pará
SEMAS/PA	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Pará
SEMMA	Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Belém-PA
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
TAQ	Taxa de Aplicação dos Agroquímicos
UGRH	Unidades de Gestão de Recursos Hídricos
WFN	Water Footprint Network / Rede da Pegada Hídrica
WULCA	Water Use Life Cycle Assessment

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. OBJETIVOS.....	20
2.1 OBJETIVO GERAL	20
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
3. REVISÃO DE LITERATURA	21
3.1 BIBLIOMETRIA.....	21
3.2 AGRICULTURA DO AÇAÍ	28
3.2.1 Contexto histórico	28
3.2.2 As plantações de açaí em Belém-PA	30
3.2.3 Comercialização em Belém-PA.....	34
3.3 GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS	37
3.3.1 Evolução do arcabouço legal das águas no Brasil.....	38
3.3.2 Política Nacional de Recursos Hídricos	41
3.4 ESCASSEZ HÍDRICA E OS OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	44
3.5 PEGADA HÍDRICA	48
3.5.1 As metodologias de avaliação da pegada hídrica da ISO e da WFN.....	48
3.5.2 Abrangência e aplicações da metodologia de avaliação da pegada hídrica da WFN.....	52
4. METODOLOGIA	55
4.1 ÁREA DE ESTUDO	56
4.2 COLETA DE DADOS.....	57
4.3 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA PEGADA HÍDRICA	58
4.3.1 Pegada Hídrica verde, azul e cinza.....	59
4.3.2 Cropwat®.....	62
4.3.3 Consumo de água anual na produção do açaí.....	65
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	66

5.1 DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO VERDE E AZUL DO AÇAÍ ATRAVÉS DO CROPWAT 8.0	67
5.2 DETERMINAÇÃO DA PEGADA HÍDRICA VERDE, AZUL E CINZA DO AÇAÍ	73
5.3 COMPARAÇÃO DA PEGADA HÍDRICA DO AÇAÍ COM OUTRAS CULTURAS	77
5.4 RELAÇÃO DA PEGADA HÍDRICA DO AÇAÍ NOS RECURSOS HÍDRICOS DA ÁREA DE ESTUDO	85
5.5 SUSTENTABILIDADE E RESPOSTAS À PEGADA HÍDRICA DO AÇAÍ.....	87
6. CONCLUSÃO	91
REFERÊNCIAS.....	94
APÊNDICE A – Relatório da visita técnica ao sítio Fruto da Fé	103
APÊNDICE B – Memória de Cálculo	114

1. INTRODUÇÃO

Em setembro de 2015 foi proposto na sede da Organização das Nações Unidas (ONU) a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, documento cujo Brasil é signatário e que se descreve como um plano de ação para as pessoas, para o planeta e para a prosperidade, com paz e por meio de parcerias. Sendo assim, foram definidos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas que devem ser atingidas até 2030 (ONU, 2015).

O ODS 6 trata de assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos e, assim como os demais objetivos, elenca metas para serem alcançadas até 2030 que envolvem temas como alcançar o acesso universal a água potável, o saneamento e higiene adequados e equitativos, melhorar a qualidade da água, reduzir a poluição, proteger e restaurar ecossistemas aquíferos, implantar a gestão integrada dos recursos hídricos e o aumento da eficiência e a sustentabilidade no uso da água associada a redução da escassez hídrica (ONU, 2015).

No município de Belém, capital do Estado do Pará e área foco desta pesquisa, o açaí destaca-se entre os diversos recursos vegetais pela sua fartura natural, sendo uma das principais culturas agrícolas locais e o alimento mais popular da região. Sua notoriedade crescente como alimento funcional e o aumento de sua demanda no mercado nacional e internacional enfatizam cada vez mais a importância socioeconômica e ambiental desse fruto e conseqüentemente tornam maior a necessidade de se conhecer os impactos ambientais potenciais desse referido aumento de demanda e produção.

Dentre os diversos aspectos ambientais que podem motivar investigações a respeito do fruto, pretende-se tratar neste estudo sobre a questão da avaliação da pegada hídrica das plantações de açaí, considerando tanto a importância do tópico, que conforme mencionado, está vinculada a um dos ODS da Agenda 2030, quanto levando em consideração a carência de informações sobre a aplicação da metodologia para essa cultura, que não possui estudos consistentes de referência em relação a essa temática, em contraposição a diversas outras culturas amplamente estudadas no Brasil e no mundo.

Hoekstra et al. (2011) colocam que o objetivo de quantificar as pegadas hídricas é analisar como as atividades humanas se relacionam com questões de escassez e

poluição da água e como essas atividades podem se tornar mais sustentáveis sob o ponto de vista hídrico, enquanto a *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO) elucida que a água é a essência da vida e fundamental para os sistemas agroalimentares e considera que o caminho para reduzir o estresse hídrico envolve alternativas de sistemas agroalimentares sustentáveis, pois, para se garantir uma gestão sustentável dos recursos hídricos para todos, é essencial olhar para o ciclo da água na sua totalidade, incluindo todos os usos e utilizadores (FAO, 2024).

De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa (2023) a variedade de açaí mais produzida e difundida comercialmente é o fruto da espécie de palmeira *Euterpe oleracea* Mart., nativa da Amazônia brasileira e que exerce um papel de destaque tanto por seu aspecto ambiental, proveniente de sua abundância no bioma, como social e econômico, por sua importância na alimentação, comércio, política, cultura e representatividade na população típica da região amazônica. Ainda de acordo com a Embrapa (2023), a polpa do açaí é rica em lipídios, fibras, proteínas, vitamina E, possui elevado teor de antocianinas e substâncias que possuem propriedades antioxidantes benéficas para a saúde, passando a atrair cada vez mais consumidores nas últimas décadas tanto em todo o território nacional quanto sendo exportada para mais de 30 países, recebendo ainda a denominação de superalimento (DE SOUZA et al., 2012).

Atualmente o açaizeiro é a fruteira nativa da Amazônia que vem apresentando a maior expansão de área manejada e cultivada ano a ano (EMBRAPA, 2023), o que corrobora ainda mais o pressuposto sobre a necessidade de estudos com informações importantes e relevantes sobre a utilização dos recursos hídricos nessa cadeia produtiva. De acordo com o relatório de Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura – PEVS 2022, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), entre os produtos extrativos não madeireiros, o açaí é produto que mais gera valor de produção no Brasil, tendo somado R\$ 830,1 milhões no ano de 2022, sendo que 92,4% de sua extração está concentrada nos Estados da região Norte, principalmente no Estado do Pará, com 66,8% do total produzido no país.

Inserido nesse contexto da crescente demanda do açaí, nota-se que a pauta envolvendo os recursos hídricos é um dos objetos centrais vinculados a gestão ambiental e ao desenvolvimento sustentável do processo. Dessa forma, a avaliação da pegada hídrica é capaz de suprir informações importantes como identificar a

quantidade de água utilizada no plantio, as projeções de mudanças na qualidade dessa água e os impactos ambientais potenciais associados ao processo, utilizando o conhecimento hidrológico, bioclimático, incluindo as coberturas geográficas e temporais conexas ao sistema em estudo (ISO, 2014).

Outra questão importante a ser discutida dentro desse tema refere-se a escassez hídrica, que pode ser definida como o desequilíbrio entre a disponibilidade de água e a sua demanda, considerando ou apenas o aspecto quantitativo do volume de água, ou seja, a escassez física, ou também abranger aspectos de qualidade da água, o que indica o uso degradativo, ou ainda o próprio acesso da população à água. Assim, a escassez hídrica deve considerar duas dimensões principais: a primeira é a escassez de disponibilidade, relacionada a falta de água com qualidade aceitável para atender à demanda existente, incluindo fluxos naturais; a segunda é a escassez econômica devido à falta de infraestrutura adequada, independente dos recursos hídricos disponíveis, causada por problemas financeiros, técnicos ou por falhas nas instituições responsáveis por garantir água confiável, segura e de forma equitativa a todos os usuários (CASTRO et al., 2019; FAO, 2012; ISO, 2014).

A Lei nº 9.433 (BRASIL, 1997) definiu a bacia hidrográfica como a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, assim, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA (2015) mostra que Belém-PA encontra-se inserida na Unidades de Gestão da Recursos Hídricos (UGRH) Tocantins-Araguaia, próximo a confluência com a UGRH das Bacias Litorâneas Estaduais do Pará.

A região hidrográfica do Tocantins-Araguaia possui disponibilidade hídrica superficial de 5.447 m³/s, o que representa 6% da disponibilidade hídrica nacional, enquanto a população total da região representa cerca de 4% dos habitantes no país. Além de Belém-PA e parte do Estado do Pará, a região hidrográfica Tocantins-Araguaia também abrange parcialmente os Estados de Goiás, Tocantins, Maranhão, Mato Grosso do Sul e Distrito Federal, representando uma área equivalente a 10,8% do território nacional, caracterizando-se pela expansão da fronteira agrícola, principalmente com relação ao cultivo de grãos e pelo potencial hidro energético regional (ANA, 2015; IBGE, 2024).

Apesar do massivo volume hídrico da região, de acordo com informações do painel de indicadores do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS

(2023), somente 55,4% da população do Estado do Pará tem acesso a rede de abastecimento de água potável, enquanto a média no Brasil é de 84,9%, o que demonstra um grande contraste entre essa grande disponibilidade do recurso hídrico e uma baixa cobertura de atendimento total de água, indicando outras formas de escassez hídrica por falta de acesso.

No capítulo 2, a seguir, serão discriminados tanto o objetivo geral quanto os objetivos específicos deste estudo interconectados com a contextualização discutida preliminarmente que indica a necessidade de apresentação de um estudo de avaliação da pegada hídrica no plantio do açaí no município de Belém, Estado do Pará.

A avaliação da pegada hídrica na agricultura tem sido explorada por diversos autores e com cada vez mais frequência nos últimos anos, considerando-se não somente a questão da escassez e da gestão sustentável dos recursos hídricos, mais ainda a grande importância que a água tem no ciclo de crescimento e desenvolvimento das plantas e na produção de alimentos, frutas, leguminosos, hortaliças e demais variedades agricultáveis. Assim, no capítulo 3 é desenvolvido a revisão de literatura, onde é possível imergir mais profundamente nas ideias e conceitos que permeiam este trabalho e toda a fundamentação teórica de base que o sustenta.

A fundamentação teórica também servirá para apresentar e explicitar metodologias consagradas para a aplicação da avaliação da pegada hídrica, das quais, destaca-se a proposta por Hoekstra et al. (2011) no *The Water Footprint Assessment Manual* (Manual da Pegada Hídrica) organizado pela *Water Footprint Network* (WFN), que separa a pegada hídrica em 3 dimensões: pegada hídrica verde, pegada hídrica azul e pegada hídrica cinza. O modo de aplicação dessa metodologia, bem como o detalhamento metodológico deste estudo será abordado no capítulo 4.

O capítulo 5 destina-se a apresentação dos resultados obtidos na pesquisa e as suas correlações com a área de estudo e com as demais instâncias citadas na bibliografia de base, discutindo-se os pontos relevantes, realizando-se comparações de resultados com a literatura e com outras ferramentas de avaliação da pegada hídrica. Também serão realizados apontamentos e sugestões de melhorias cabíveis ao processo, como subsídios para ações, programas e estudos posteriores. Por fim, o capítulo 6 traz um panorama de toda a pesquisa com as considerações finais.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar a avaliação da pegada hídrica total e suas componentes verde, azul e cinza nas plantações de açaí de várzea em sistemas de produção extrativistas ou cultivados e manejados na área do município de Belém, Estado do Pará, Brasil.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Compõem os objetivos específicos deste estudo:

- a. Determinar a evapotranspiração e a necessidade de irrigação da cultura do açaí;
- b. Identificar e quantificar a pegada hídrica total e as suas componentes verde, azul e cinza das plantações açaí;
- c. Comparar os resultados da pegada hídrica na cultura do açaí com as de outras culturas;
- d. Relacionar a atividade do cultivo do açaí com os recursos hídricos no contexto regional;
- e. Indicar oportunidades de melhoria e práticas sustentáveis para as plantações de açaí na área de estudo.

3. REVISÃO DE LITERATURA

Paul e Criado (2020) explicam que a revisão sistemática da literatura pode ser amplamente classificada como revisões baseadas em domínio, teorias, métodos ou como meta analíticas. Nesta pesquisa, escolheu-se adotar uma revisão de literatura baseada em domínio categorizada como híbrida, pois incorpora características de revisões de domínio estruturadas e revisões de domínio bibliométricas. As revisões estruturadas são formatadas com base em métodos, teorias e construções amplamente utilizadas, inclusive na forma de tabelas e figuras por exemplo, enquanto as revisões bibliométricas buscam analisar uma extensa quantidade de pesquisas publicadas usando ferramentas estatísticas, para encontrar tendências, citações de determinado tema, autores e uma gama de outros indicadores relevantes para a pesquisa, inclusive podendo ser desenvolvida com o apoio de softwares (PAUL; CRIADO, 2020).

A revisão de literatura deste estudo abarca diversos tópicos que se correlacionam e se complementam ao tema central proposto da pegada hídrica, como é possível mencionar as temáticas da agricultura do açaí, da escassez hídrica, da gestão de recursos hídricos e do desenvolvimento sustentável. Sem embargo, será apresentado um estudo bibliométrico específico e direcionado ao escopo do tema de enfoque desta pesquisa, considerando a necessidade de uma análise mais abrangente e ao mesmo tempo escrupulosa, apoiada por metodologias validadas de suporte a esse processo de revisão.

3.1 BIBLIOMETRIA

A revisão bibliométrica desta pesquisa foi desenvolvida a partir da metodologia proposta por Aria e Cuccurullo (2017), que utiliza uma ferramenta de código aberto denominada *Bibliometrix*® instalada no software de programação *R*® (R FOUNDATION, 2024), para realizar um mapeamento científico abrangente, com a apresentação de dados estatísticos, gráficos e analíticos dessa bibliometria. Dentro da lista de bases de coleções de publicações científicas suportadas pela ferramenta, foram escolhidas para esta pesquisa as plataformas *Web of Science* e *Scopus*, que possuem um grande acervo de publicações indexadas, disponíveis nas áreas de

pesquisa relacionadas com este estudo, ou seja, ciências ambientais, engenharias, agronomia e demais afins.

Após essa etapa inicial de preparação e planejamento da revisão, que incluiu a escolha das bases e os critérios de pesquisa, prosseguiu-se à etapa de coleta de dados, realizada em 3 estágios: obtenção; carregamento e conversão; e, por fim, limpeza de dados. As configurações de pesquisa nas bases e suas respectivas palavras-chave, operadores booleanos e filtros, que foram definidos na etapa de preparação e planejamento da revisão, estão representados abaixo (Quadro 1), bem como os respectivos resultados encontrados na etapa de coleta de dados.

Quadro 1 - Configuração da coleta de dados nas bases de publicações.

Base	Palavras-chave	Código da busca	Filtro	Número de resultados
<i>Web of Science</i>	"Water Footprint Assessment"; agriculture; agricultural; crops; plantation; cultivation	Water Footprint Assessment (Topic) AND agriculture OR agricultural OR crops OR plantation OR cultivation (Topic)	Período de 2014 a 2024	115
<i>Scopus</i>	"Water Footprint Assessment"; agriculture; agricultural; crops; plantation; cultivation	TITLE-ABS-KEY ("Water Footprint Assessment" AND (agriculture OR agricultural OR crops OR plantation OR cultivation)) AND PUBYEAR > 2013	Período de 2014 a 2024	131

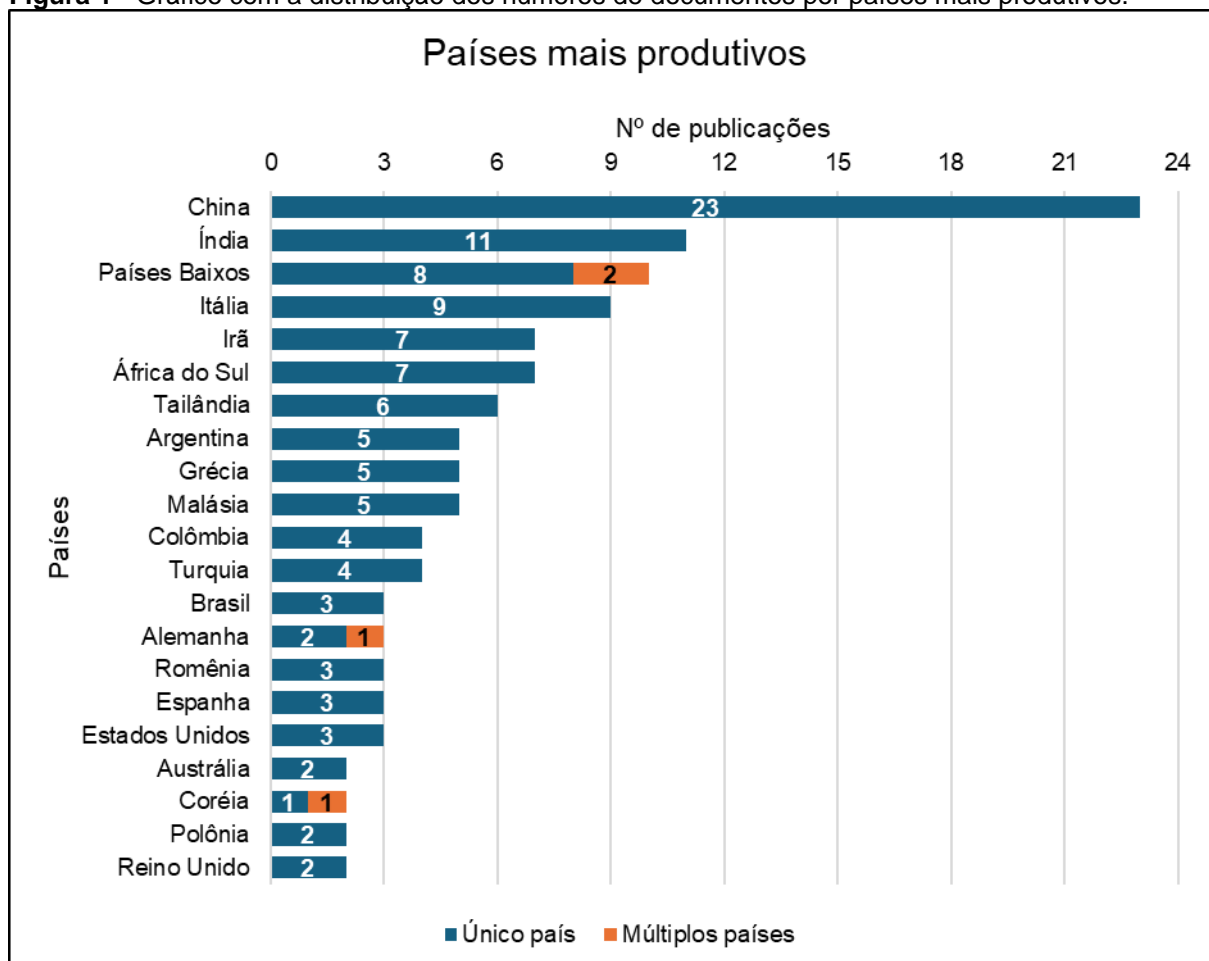
Fonte: Autor (2024).

Os metadados dos resultados das buscas foram baixados das bases das plataformas *Web of Science* e *Scopus*, carregados e convertidos no programa *R*® com o uso da ferramenta *Bibliometrix*®, passando logo após por um processo de remoção de duplicatas (resultados iguais de ambas as plataformas). Foram encontrados 98 resultados duplicados, de tal modo que, ao final do processo restaram 148 publicações exclusivas. Ainda com o uso da ferramenta *Bibliometrix*® e sua aplicação de extensão *Biblioshiny*® foi possível prosseguir para as etapas de análise, visualização e interpretação dos dados, descritos a seguir.

De acordo com o relatório analítico gerado, dentre os 148 documentos resultantes da pesquisa, 125 são classificados como artigos científicos, 9 anais de conferências, 5 capítulos de livros, 5 artigos de revisão e os demais estão entre outros tipos de publicações. As publicações dividem-se entre 512 autores, 71 fontes (periódicos, livros e anais, por exemplo), possuem 5.919 referências e uma média de

23,4 citações por documento. Em relação à origem dos documentos, o gráfico a seguir (Figura 1) mostra os principais países em número de publicações dentre os resultados.

Figura 1 - Gráfico com a distribuição dos números de documentos por países mais produtivos.

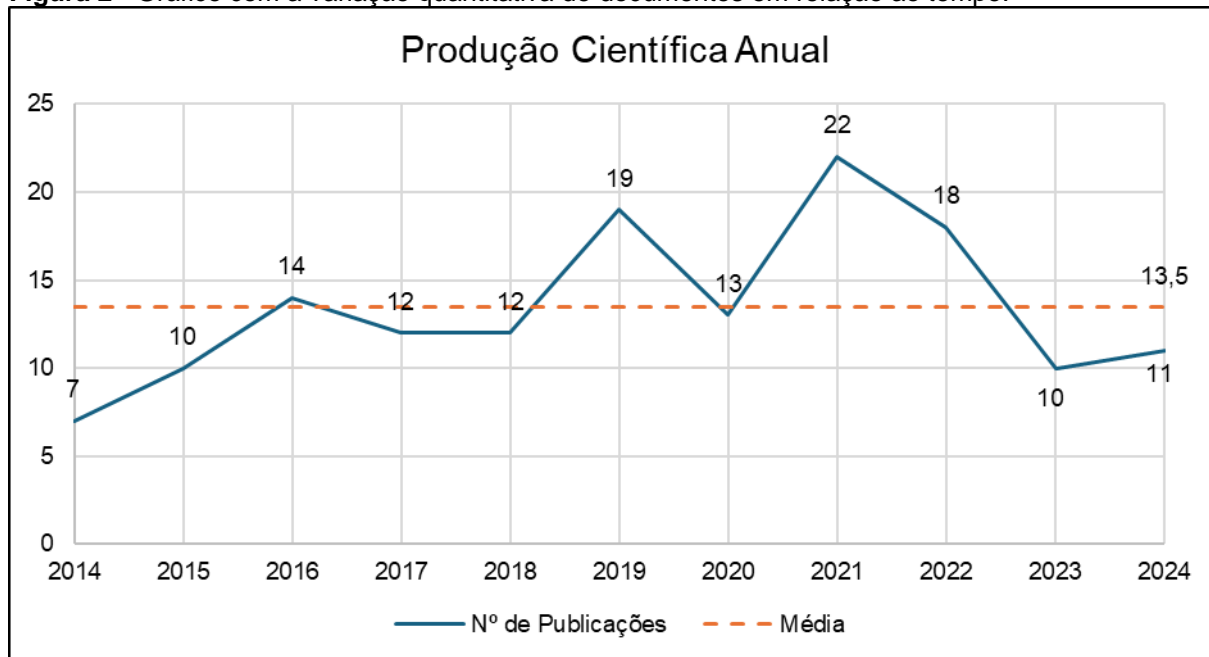


Fonte: *Bibliometrix®* e *Biblioshiny®* (2024), adaptado pelo autor.

Observa-se que a China com 23, a Índia com 11 e os Países Baixos com 10 documentos são, respectivamente, os locais com mais publicações resultantes. A ferramenta considera o endereço de correspondência do(s) autor(es) como referência para a nacionalidade do documento. Alguns documentos apresentam a contribuição de autores de mais de uma nacionalidade, como é o caso de 2 publicações atribuídas aos Países Baixos, 1 à Alemanha e 1 à Coreia destacados no gráfico acima. Em relação aos países mais citados, os Países Baixos é o primeiro da lista, com 687 citações, seguido por China com 500 citações e Itália com 427 citações. O Brasil possui um quantitativo de 3 publicações, conforme exibido no gráfico da Figura 1, com 11 citações registradas no relatório analítico.

Como previsto, considerando a aplicação do filtro, todas as publicações se concentraram no período entre 2014 e 2024, assim, o gráfico abaixo (Figura 2) registra a variação do quantitativo de produção científica da pesquisa no decorrer desse período.

Figura 2 - Gráfico com a variação quantitativa de documentos em relação ao tempo.

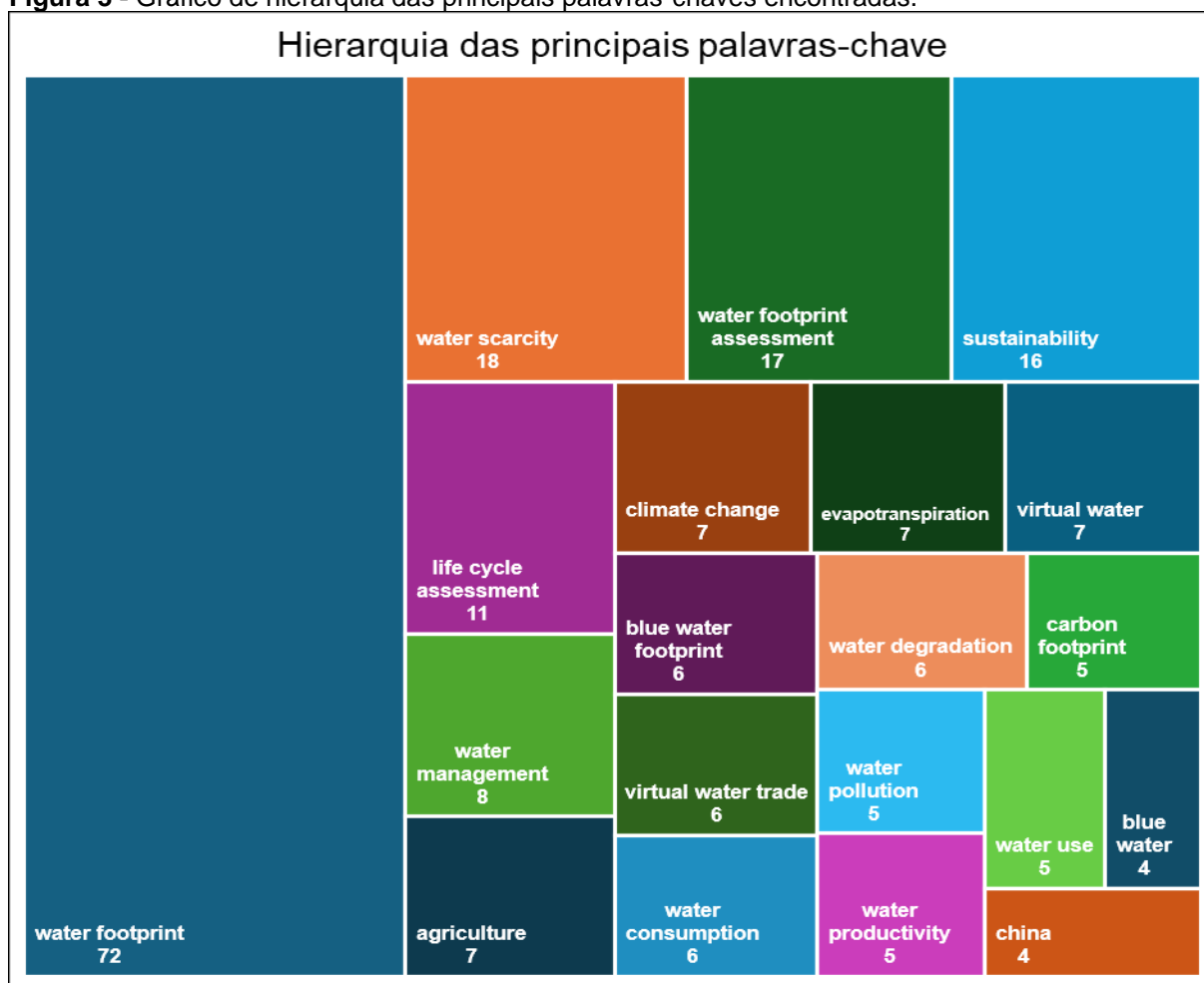


Fonte: *Bibliometrix®* e *Biblioshiny®* (2024), adaptado pelo autor.

O número de publicações manteve-se regular durante o período, apresentando seu valor mínimo em 2014, com somente 7 documentos encontrados, e seu valor máximo no ano de 2021, quando foram publicados 22 documentos, ou seja, nesse último caso registrou-se um número de publicações bem acima da média, que ficou em torno de 13,5 publicações por ano. No ano de 2024 estão registradas 11 publicações, superando os 10 documentos publicados em 2023 e demonstrando uma projeção de crescimento de publicações relacionadas, considerando ainda que esse estudo bibliométrico ocorreu no decurso do primeiro semestre de 2024.

As palavras-chave definidas pelos autores somam 1.138 termos, sendo que os 20 principais estão apresentadas no gráfico de hierarquia (Figura 3), enquanto os termos de índices gerados a partir dos títulos citados (palavras-chave +) somam 422 palavras e estão representadas pela nuvem de palavras (Figura 4).

Figura 3 - Gráfico de hierarquia das principais palavras-chaves encontradas.



Fonte: *Bibliometrix*® e *Biblioshiny*® (2024), adaptado pelo autor.

Figura 4 - Nuvem de palavras de índices gerados a partir dos títulos citados.



Fonte: *Bibliometrix*® e *Biblioshiny*® (2024).

Percebe-se que as palavras-chave mais usadas pelos autores foram “*water footprint*” (pegada hídrica) com 72 ocorrências, “*water scarcity*” (escassez hídrica) com 18 ocorrências, “*water footprint assessment*” (avaliação da pegada hídrica) com 17 ocorrências e “*sustainability*” (sustentabilidade) com 16 ocorrências. Ao realizar-se a comparação do gráfico de hierarquia com a nuvem de palavras, percebe-se que há mudanças nos padrões dos termos exibidos, contudo, nota-se também uma repetição de termos comuns, como “*water footprint*” (pegada hídrica), “*water management*” (gestão de recursos hídricos) e “*climate change*” (mudanças climáticas), por exemplo.

Em relação as publicações mais relevantes, considerando o número total de citações, foram organizados os 20 principais documentos (Tabela 1) com os respectivos identificadores DOI (*Digital Object Identifier*) – que facilitam na busca dos documentos, classificados em ordem decrescente desde a publicação com maior número de citações.

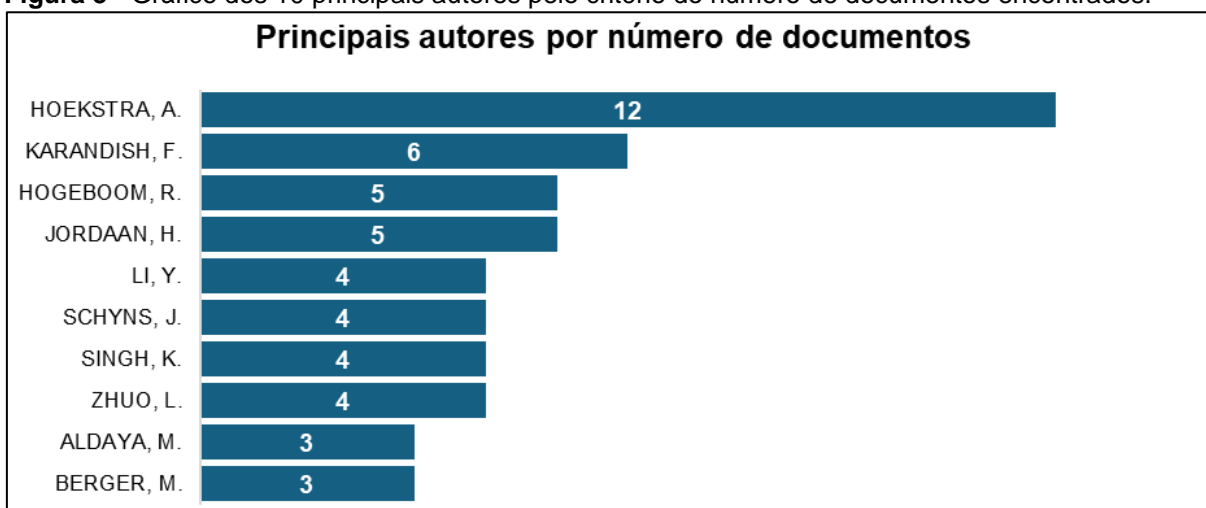
Tabela 1 - Publicações mais relevantes por número total de citações.

Publicações mais relevantes	DOI	Nº de citações
HOEKSTRA AY, 2017, WATER RESOUR MANAG	10.1007/s11269-017-1618-5	167
NOURI H, 2019, SCI TOTAL ENVIRON	10.1016/j.scitotenv.2018.10.311	145
ZHUO L, 2014, HYDROL EARTH SYST SCI	10.5194/hess-18-2219-2014	128
SCHYNS JF, 2014, PLOS ONE	10.1371/journal.pone.0099705	121
XINCHUN C, 2018, SCI TOTAL ENVIRON	10.1016/j.scitotenv.2017.08.011	103
PELLEGRINI G, 2016, J CLEAN PROD	10.1016/j.jclepro.2015.10.088	88
WANG R, 2016, ENVIRON SCI TECHNOL	10.1021/acs.est.6b00571	87
MEKONNEN MM, 2015, SUSTAINABILITY	10.3390/su7022086	84
BONAMENTE E, 2016, SCI TOTAL ENVIRON	10.1016/j.scitotenv.2016.04.026	84
LIU W, 2017, J CLEAN PROD	10.1016/j.jclepro.2017.01.072	78
AIVAZIDOU E, 2016, J CLEAN PROD	10.1016/j.jclepro.2016.07.210	77
XIAO G, 2019, AGRIC WATER MANAGE	10.1016/j.agwat.2018.09.011	72
ABABAEI B, 2017, AGRIC WATER MANAGE	10.1016/j.agwat.2016.07.016	69
KARANDISH F, 2017, WATER	10.3390/w9110831	66
KASHYAP D, 2021, AGRIC SYST	10.1016/j.agsy.2020.102959	63
SONG J, 2019, J CLEAN PROD	10.1016/j.jclepro.2019.117685	60
MOTOSHITA M, 2018, INT J LIFE CYCLE ASSESS	10.1007/s11367-014-0811-5	60
HARRIS F, 2017, SCI TOTAL ENVIRON	10.1016/j.scitotenv.2017.02.085	51
NANA E, 2014, AGRIC SYST	10.1016/j.agsy.2014.03.006	50
SUN S, 2016, J CLEAN PROD	10.1016/j.jclepro.2015.06.123	50

Fonte: *Bibliometrix*® e *Biblioshiny*® (2024), adaptado pelo autor.

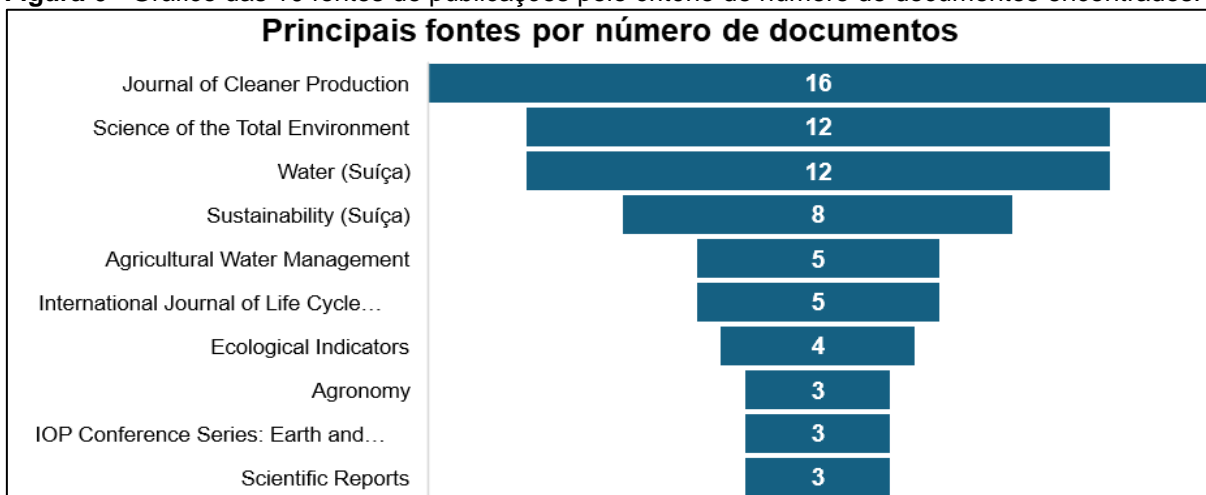
Dentre as 5 publicações mais citadas da Tabela 1, as 4 primeiras apresentam o professor neerlandês Arjen Y. Hoekstra (1967 - 2019) como autor principal ou coautor, o que é justificável pelo fato desse ser um dos principais mentores no desenvolvimento da metodologia de avaliação da pegada hídrica da *Water Footprint Network*, que também será utilizada neste estudo. Hoekstra também lidera as estatísticas exibidas no gráfico abaixo com os 10 principais autores, considerando o critério do número de publicações encontradas na busca da pesquisa (Figura 5), e conforme citado anteriormente, há um total de 71 fontes diferentes de documentos encontrados na pesquisa, dos quais foram mapeadas as 10 principais fontes de publicações, considerando o critério do número de documentos encontrados em cada uma dessas fontes (Figura 6).

Figura 5 - Gráfico dos 10 principais autores pelo critério do número de documentos encontrados.



Fonte: *Bibliometrix*® e *Biblioshiny*® (2024), adaptado pelo autor.

Figura 6 - Gráfico das 10 fontes de publicações pelo critério do número de documentos encontrados.



Fonte: *Bibliometrix*® e *Biblioshiny*® (2024), adaptado pelo autor.

O *Journal of Cleaner Production*, o *Science of the Total Environment*, o *Water* (Suíça) e o *Sustainability* (Suíça) formam juntos 32,4% dos documentos encontrados na pesquisa, ou seja, concentram praticamente 1/3 de todas as publicações, o que enfatiza a relevância do tema em suas linhas editoriais.

Em síntese, esse estudo bibliométrico conferiu que há uma grande afinidade da temática da avaliação da pegada hídrica com outros assuntos como a sustentabilidade, a gestão de recursos hídricos, as mudanças climáticas, a escassez hídrica e a agricultura de uma forma geral. Dentre as diversas publicações encontradas, o autor neerlandês Arjen Y. Hoekstra obteve o maior destaque, tanto em número de publicações relevantes, como é o autor mais citado, sendo também o autor da obra mais citada na pesquisa.

Aferiu-se ainda que a temática vem sendo regularmente explorada nos últimos 10 anos, com uma média de 13,5 publicações por ano, tendo suas principais contribuições de autores da China, Índia e Países Baixos, contudo, ainda foi pouco difundida no Brasil, tanto em número de publicações quanto em número de citações do país nos documentos pesquisados. Diante dessa análise, foram desenvolvidas as outras vertentes dessa revisão de literatura, que serão apresentadas a seguir.

3.2 AGRICULTURA DO AÇAÍ

3.2.1 Contexto histórico

A primeira fase do consumo do açaí se iniciou entre os grupos indígenas nativos da região amazônica com a maceração dos frutos maduros para extração da polpa, sendo relatado por diversos viajantes e escritores que passavam pelo local desde os séculos passados, os quais registravam sobre esse peculiar e extensivo hábito local de consumo do açaí. O célebre autor ficcionista francês Jules Verne (1828 - 1905), mesmo sem nunca ter visitado a região, lançou em 1880 o livro *La jangada - Huit cents lieues sur l'Amazone*, romance ambientado na Amazônia brasileira de 1852, onde cita e comenta sobre o açaí e seu valor nutritivo como alimento das populações ribeirinhas (EMBRAPA, 2023).

Oliveira et al. (2017) comentam que a origem da palavra açaí é a língua tupi (*yá-çaí*), que significa “fruto que chora”, contudo, se tratando de um fruto que envolve

crenças culturais, há também uma lenda envolvida na explicação da origem da palavra, que relaciona o nome do fruto com a saga da tribo do cacique *Itaki* e de sua filha, que se chamava *laçá*. *laçá* foi quem teria descoberto a palmeira andando pela mata e seu pai, o cacique, foi quem percebeu que os frutos poderiam alimentar a sua tribo, assim, para homenagear a palmeira, capaz de matar a fome de seu povo, o cacique inverteu o nome de sua filha e chamou o fruto de açaí (FARIAS; BRITO, 2022; OLIVEIRA et al., 2017).

Atualmente a polpa do açaí ainda é o principal alimento de grande parte das famílias nas comunidades ribeirinhas e nos bairros de baixa renda do núcleo urbano de Belém-PA, que o consomem, diariamente, com farinha seca, tapioca, charque, peixe ou camarão, sendo encontrado em vários pontos de venda da cidade, denominados de “batedores de açaí”, tipicamente identificados por placas vermelhas e palavra “açaí” grafado com letras brancas (Figura 7), que são essencialmente locais onde é extraída a polpa do fruto recém colhido, comercializada por unidade de litro (NOGUEIRA; DE SANTANA; GARCIA, 2013; OLIVEIRA et al., 2017).

Figura 7 - Estabelecimento batedor de açaí em Belém-PA.



Fonte: Autor (2024).

A evolução cultural que envolve a percepção de alimentos como o açaí se expressa na orientação de consumo para produtos com qualidade e equilíbrio nutricional, sendo que nesse caso, há também o valor territorial de produtos típicos, ou seja, com identificação de origem. Ao se ativar o olhar sobre o território ribeirinho, sendo o açaí um desses elementos que manifesta a dinâmica espacial da territorialidade e da cultura, pois o fruto representa para as populações amazônicas um alimento indispensável que foi agregado ao cotidiano familiar. Assim, o açaí constitui a cultura real e simbólica que está presente não somente na base socioeconômica e alimentar, mas também na criação de lendas, fábulas, músicas, danças folclóricas, festivais gastronômicos e mitos (FARIAS; BRITO, 2022; FERNANDES, 2022; RUSCHEL, 2019).

Antes do surgimento de indústrias de beneficiamento, os açaizais tinham uma produção extrativista em que os frutos de açaí eram destinados para a subsistência das famílias ribeirinhas, mas com o passar dos anos, o uso tradicional da polpa de açaí como refeição entre os moradores da região amazônica passou a constituir outras finalidades, como sobremesa de luxo e componente de alimentos energéticos, cosméticos, fármacos e de dezenas de outros produtos (EMBRAPA, 2023; HOMMA et al., 2014). Para Tavares et al. (2022) houve um crescimento do mercado de polpa de açaí a partir da década de 1990, promovido pelo processo de beneficiamento e congelamento que quadruplicou o consumo paraense da fruta na última década, antes restrito ao período da safra e da incorporação do mercado nacional e externo.

3.2.2 As plantações de açaí em Belém-PA

Considerando a necessidade de ampliação do conhecimento sobre o processo produtivo do açaí na região, além da pesquisa bibliográfica a respeito da plantação do açaí, foi realizada uma visita técnica ao sítio Fruto da Fé, propriedade destinada a produção de açaí, localizada na área rural do município do Acará-PA que faz fronteira com a microrregião de Belém-PA, onde há a instalação de um sistema agroflorestal de manejo e cultivo de açaí. A visita ocorreu no dia 16 de janeiro de 2024 e o relatório dessa pesquisa *in loco* está disponível no Apêndice “A” deste estudo.

De acordo com Nogueira, Figueiredo e Müller (2005) o açaizeiro é uma espécie originária de cruzamentos e apresenta grande variação de tipos, assim, a partir dessas

características resultaram, entre outras, as denominações de açaí-roxo ou preto, açaí-branco, açaí-açu, açaí-espada e açaí-sangue-de-boi. A partir da década de 1990, a produção de frutos de açaizeiro, até então proveniente da exploração extrativa, passou a contar, também, com a participação de açaizais nativos manejados e de cultivos, em várzea e terra firme, em sistemas solteiros e consorciados.

O Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia - IPAM Amazônia (2018) coloca que na floresta nativa o açaizeiro produz em terra firme 140 quilos do fruto por hectare e em áreas de várzea pode atingir mais de 270 quilos por hectare no período de um ano. Apesar disso, os açaizeiros mais explorados são aqueles de terra firme, pois seus frutos são maiores. Nos últimos anos, com a valorização dos frutos do açaizeiro, há a tendência de adensamento desta espécie e, como consequência indireta, a redução da biodiversidade de várzea, com a eliminação de plantas não-produtoras de frutos, como as palmeiras masculinas de buritizeiro, cuja manutenção é considerada desnecessária pelos ribeirinhos, mas de importância para a produção de pólen e produção de frutos nas plantas femininas (NOGUEIRA; FIGUEIREDO; MÜLLER, 2005).

O açaizeiro inicia seu ciclo de produção de frutos com a idade entre 3 e 4 anos por um conjunto de ramos que, após o desenvolvimento dos frutos, é conhecido por cacho. O florescimento ocorre durante todos os meses do ano, com o pico entre os meses de fevereiro e julho sendo necessários de 5 a 6 meses para os frutos atingirem a fase de colheita. A seleção dos cachos a serem colhidos é feita visualmente antes da subida na palmeira, em função da cor dos frutos, onde a experiência torna esta tarefa bastante simples (NOGUEIRA; FIGUEIREDO; MÜLLER, 2005; OLIVEIRA; NETO; PENA, 2007).

Na região de Belém-PA destacam-se duas épocas diferentes de colheita dos frutos de açaizeiro, a primeira é a safra de verão, que ocorre no período de estiagem, com um volume de produção de duas a três vezes maior que a safra de inverno, também conhecida como entressafra, que corresponde à época das chuvas. Os frutos nesse período de entressafra têm a coloração roxo-azulada e o açaí produzido é considerado de qualidade inferior (HOMMA et al., 2014; NOGUEIRA; FIGUEIREDO; MÜLLER, 2005).

A colheita tradicional é uma operação perigosa e difícil, pois as palmeiras atingem até 15 metros de altura, sendo que o colhedor, também chamado de

apanhador, utiliza somente uma espécie de cinto trançado nos pés, conhecido como “peconha” e própria força para subir até o cume do estipe onde se localizam os cachos, com risco constante de tombamento ou de quebra da palmeira, devido ao próprio peso. Em uma jornada de trabalho de 6 horas, um colhedor experiente é capaz de colher de 150 a 200 kg de frutos. A colheita, preferencialmente, deve ser realizada pela manhã, pois as chuvas, normalmente acompanhadas de ventos fortes, ocorrem com maior frequência no período vespertino e tornam mais difícil a escalada nos estipes, que ficam mais escorregadios (MARTINOT, 2013; NOGUEIRA; FIGUEIREDO; MÜLLER, 2005; OLIVEIRA; NETO; PENA, 2007).

Nogueira, Figueiredo e Müller (2005) comentam que após a colheita dos cachos (Figura 8A), ainda no açazal, são realizadas as operações de debulha e de catação (Figura 8B), ou seja, liberação dos frutos dos cachos e da seleção dos frutos de acordo com a coloração ou estágio de maturação, respectivamente.

Figura 8 - Atividade de colheita (A) e debulha (B) dos cachos de açaí.



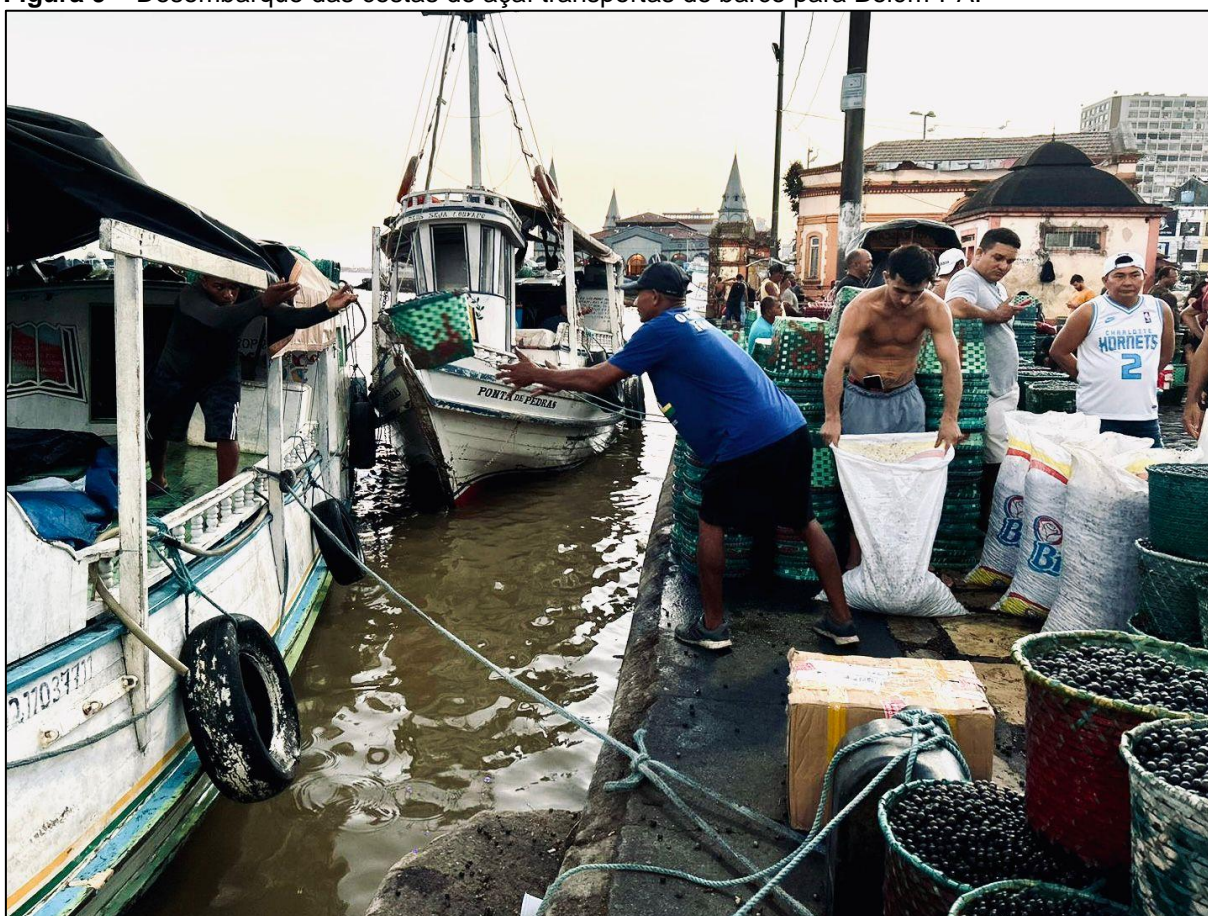
Fonte: Embrapa (2024). Fotos: Wenderson Nunes (A) e Ronaldo Rosa (B).

Como dito, os frutos do açazeiro são classificados de acordo com a coloração, assim, quando os frutos apresentam a casca com a tonalidade roxo-escura intensa e recoberta por uma camada de pó com a tonalidade branco-acinzentada, caracteriza-

se o estágio mais adequado para a colheita dos frutos. Os cachos apresentam maior homogeneidade e maturação do açaí com a coloração vermelho-arroxeadada, o qual é considerado de melhor qualidade sensorial (NOGUEIRA; FIGUEIREDO; MÜLLER, 2005; SALGADO, 2011).

Durante a colheita os frutos já colhidos são mantidos sob a sombras das árvores, cobertos por folhas de açazeiro ou de outras palmeiras como medida preventiva à exposição desnecessária à radiação solar direta. Após a debulha, os restos dos cachos são deixados no próprio local para decomposição e os cestos cheios de frutos são levados para um local reservado para seu armazenamento até o momento de serem levados para o trapiche ou local de embarque, de onde serão transportados para comercialização em Belém-PA geralmente por vias fluviais (Figura 9), pois o barco é um meio de transporte típico da região (MARTINOT, 2013; NOGUEIRA; FIGUEIREDO; MÜLLER, 2005; OLIVEIRA; NETO; PENA, 2007).

Figura 9 – Desembarque das cestas de açaí transportas de barco para Belém-PA.



Fonte: Autor (2024).

Na região de Belém-PA, assim como no restante da região Norte, o meio de transporte mais utilizado é o fluvial, o que facilita o escoamento da produção de frutos de açaí provenientes das áreas de várzeas. O horário noturno é fundamental para o transporte, pois os frutos estão com a temperatura mais baixa, o que reduz o processo de degradação. Quando o transporte é realizado nas primeiras horas do dia, garante-se, dependendo da distância, a chegada dos frutos nos grandes centros consumidores de Belém-PA no dia seguinte ao da colheita (OLIVEIRA; NETO; PENA, 2007; SALGADO, 2011).

O transporte fluvial pode ser realizado em embarcação de pequeno porte, com capacidade variando de 200 kg até poucas toneladas, sendo que esse tipo de embarcação cobre apenas pequenas distâncias, enquanto quando há a necessidade de transportar volumes maiores de frutos, são utilizadas embarcações com capacidade entre 10 e 20 toneladas. Os pequenos produtores ribeirinhos muitas das vezes comercializam as suas produções, em pontos distantes dos centros de consumo, para serem transportadas em barcos maiores (MARTINOT, 2013; NOGUEIRA; FIGUEIREDO; MÜLLER, 2005; SALGADO, 2011).

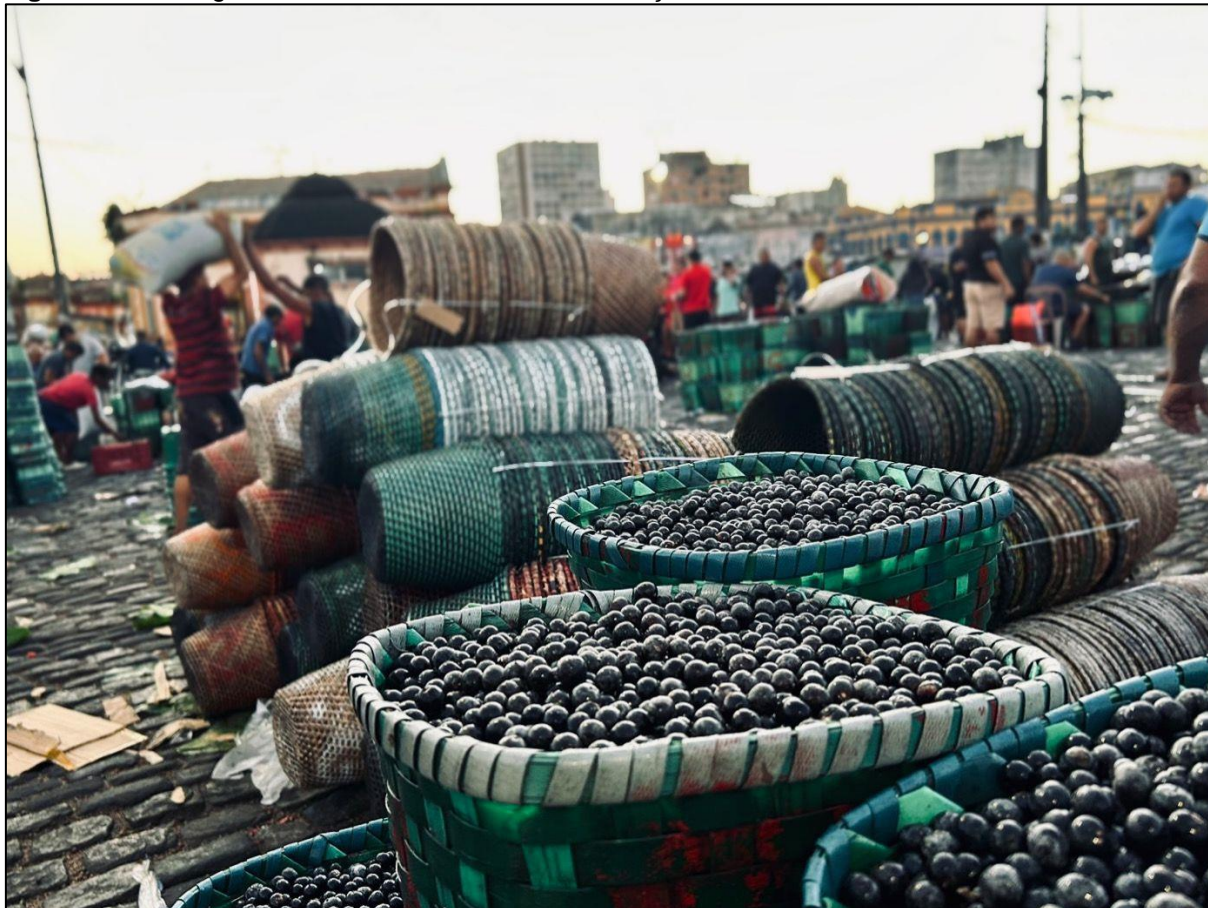
Os frutos de açaizeiro são muito perecíveis, por isso devem ser despulpados no tempo máximo de 24 horas após a colheita, quando estocados sob temperatura ambiente. O processo de degradação é acelerado principalmente pelas temperaturas elevadas nas áreas de produção e comercialização, o que torna a proteção contra radiação solar direta um fator importante para evitar a perda excessiva de água, prejudicial a despolpa, pois provoca a diminuição do rendimento e o açaí obtido apresentará cor inadequada, com restrições da aceitabilidade quando da comercialização (NOGUEIRA; FIGUEIREDO; MÜLLER, 2005).

3.2.3 Comercialização em Belém-PA

A distribuição do açaí ocorre a partir da chegada dos frutos nas feiras e portos de Belém-PA, como na Feira do Açaí (Figura 10) próximo ao mercado do Ver-o-Peso, no Porto do Açaí ou Porto da Palha localizados no bairro do Jurunas e no Porto da Vila de Icoaraci, sendo que o produto pode ser direcionado tanto ao mercado atacadista quanto ao varejista, através da venda direta ou por intermediários. A comercialização se inicia ainda de madrugada, a partir de 01:00 hora, variando em

função das marés, podendo se estender até às 9:00 horas, quando a oferta já é mais baixa (NOGUEIRA; FIGUEIREDO; MÜLLER, 2005; OLIVEIRA; NETO; PENA, 2007).

Figura 10 - Carregadores e comerciantes na feira do açaí em Belém-PA.



Fonte: Autor (2024).

A tradição de comercializar os frutos nesse horário está relacionado ao caráter perecível do açaí e ao perfil do consumidor, que inicia a busca pelo produto majoritariamente no período da manhã. Há Inúmeros intermediários de comercialização, responsáveis pela distribuição urbana dos frutos, os quais já possuem os batedores de açaí que são clientes fiéis, tendo assim sua venda garantida diariamente (FERNANDES, 2022; NOGUEIRA; FIGUEIREDO; MÜLLER, 2005; OLIVEIRA; NETO; PENA, 2007).

Os batedores de açaí em geral são microempreendedores atuantes em pontos fixos de produção e venda da polpa do fruto, que são pequenos estabelecimentos localizados nos mais diversos municípios do estado do Pará. Esses comerciantes compram o fruto fresco, processam e vendem a polpa do açaí diretamente ao consumidor. Em relação ao empreendimento e sua respectiva atividade em Belém-

PA, pode-se identificar algumas características como a de que, em sua maioria, os batedores são os proprietários do negócio, adquirem o fruto na Feira do Açaí, possuem em média dois funcionários e a confiança está presente nas relações econômicas (COSTA, 2022; FERNANDES, 2022). A seguir é possível visualizar um batedor de açaí operando a máquina despulpadora ou batedora de açaí (Figura 11) como é mais comumente chamada na região.

Figura 11 - Batedor de açaí em Belém-PA.



Fonte: Autor (2024).

De acordo com o Regulamento Técnico para a fixação dos padrões de identidade e qualidade para a polpa de açaí (BRASIL, 2016), o açaí processado é

classificado em: açaí grosso ou especial (tipo A); açaí médio ou regular (tipo B); e açaí fino ou popular (tipo C). Como citado anteriormente, a medida usada na venda da polpa é o litro, a sazonalidade do fruto influencia o preço, assim, na época de chuvas da Amazônia, o fruto torna-se escasso e o preço da polpa aumenta. O contrário ocorre no verão, estação que vai de junho até o final de novembro ou início de dezembro, onde a oferta e qualidade do fruto aumenta e o preço diminui (COSTA, 2022; FERNANDES, 2022).

Considerando o propósito de melhorar as condições higiênico-sanitárias desses batedores e oferecer aos consumidores um produto seguro e com padronização no processamento, o Governo do Estado do Pará editou o Decreto nº 326, de 24 de janeiro de 2012, que traz orientações, padrões, normas e condutas a respeito: do cadastramento obrigatório dos batedores artesanais junto ao poder público; das instalações, materiais, máquinas e equipamentos dos batedores; da localização dos estabelecimentos; da estrutura física; da higienização das instalações, equipamentos, móveis e utensílios; do controle integrado de vetores e pragas urbanas; das condições higiênico-sanitárias dos batedores; e das boas práticas de processamento dos frutos (GOVERNO DO ESTADO DO PARÁ, 2012).

Diante desse mapeamento do processo produtivo do açaí na região foi possível compreender de forma mais clara uma parte do ciclo de vida do fruto, principalmente o relacionado à sua plantação e encaminhamento ao consumo como polpa em Belém-PA. A seguir, pretende-se compreender mais sobre a temática da gestão dos recursos hídricos no Brasil e no Estado do Pará, que se configura outro importante tópico neste estudo.

3.3 GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

Objetivando obter-se mais informações sobre a gestão dos recursos hídricos no Brasil e no Estado do Pará será realizado um breve levantamento histórico sobre a evolução do arcabouço legal que envolve o tema, com destaque especial para a lei das águas, instituída em 1997 no Brasil, assim como será realizada uma abordagem mais aprofundada sobre um dos principais instrumentos dessa lei – o Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). Também serão abordadas as questões da segurança hídrica e dos cenários prospectados a partir dos efeitos das mudanças climáticas

discutidos no relatório de conjuntura dos recursos hídricos no Brasil da ANA, que compõem o último PNRH.

3.3.1 Evolução do arcabouço legal das águas no Brasil

O primeiro aspecto que pode ser abordado sobre a temática da gestão dos recursos hídricos diz respeito a evolução dos dispositivos legais que veem tratando o assunto ao longo dos anos. Melo, Dantas Neto e Maracajá (2012) afirmam que a gestão dos recursos hídricos no Brasil começou a ser tratada mais incisivamente a partir da instituição do código de águas através do Decreto nº 24.643 de 1934, sancionada pelo então presidente Getúlio Vargas, dando fim a uma fase de exploração desregrada, onde não havia qualquer preocupação ou interesse com a proteção das águas de maneira institucionalizada e iniciando uma fase de controle legal das atividades exploratórias, mas ainda sem qualquer intuito preservacionista.

O Código estabeleceu uma política hídrica bastante moderna e complexa para a época, abrangendo vários aspectos, tais como aplicação de penalidades, definição de domínio e aproveitamento das águas e suas relações com o uso e ocupação do solo (GONÇALVES et al., 2017). Melo, Dantas Neto e Maracajá (2012) colocam que o Código de Águas definiu os tipos de água, tratou de critérios de aproveitamento, dispôs sobre a contaminação dos corpos hídricos e foi o primeiro diploma legal que disciplinou o aproveitamento industrial das águas no Brasil, enquanto Milaré (2007, apud MELO; DANTAS NETO; MARACAJÁ, 2012) aponta que o Código de Águas foi editado com vistas a possibilitar o aproveitamento industrial das águas e, sobretudo, da energia hidráulica.

Em meados da década de 1960, o Brasil instituiu o código florestal pela Lei nº 4.771 de 1965, bem como a sua primeira Política Nacional de Saneamento através da Lei nº 5.318 de 1967. O Código Florestal concedeu status de área de preservação permanente para as matas ciliares, ou seja, para as faixas de florestas e demais formas de vegetação natural, situadas ao longo dos rios e cursos d'água, de forma semelhante, a Política Nacional de Saneamento de 1967 normalizou o saneamento básico especialmente sobre sistemas de esgoto, drenagem de águas pluviais, controle das modificações artificiais das massas de água e sobre o controle das inundações e da erosão (ALMEIDA, 2002). O código florestal já foi reeditado e atualmente é regido

pela Lei nº 12.651 de 2012, enquanto o marco legal do saneamento foi instituído pela Lei nº 11.445 de 2007 e atualizado pela Lei nº 14.026 de 2020.

Na década de 1980 o Brasil consolidou sua Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) através da Lei nº 6.938 de 1981, ainda vigente, que tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, dessa forma, assegurando condições ao desenvolvimento socioeconômico no país, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana (BRASIL, 1981). Almeida (2002) diz que a PNMA trouxe consigo o início do pensamento holístico em relação à proteção ambiental no Brasil, onde lançou bases para a busca do desenvolvimento sustentável, instituiu objetivos e instrumentos da política nacional, estabeleceu princípios garantidores e protetivos do meio ambiente, consolidou o Estudo de Impacto Ambiental, além de adotar a responsabilização do agente pelo dano causado ao meio ambiente e a terceiros afetados por suas atividades.

A PNMA resgatou os princípios de usuário-pagador e poluidor-pagador presentes no Código de Águas de 1934 e foi a responsável pela criação do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que em 1986 editou a Resolução CONAMA nº 20, que dispunha sobre a classificação e enquadramento das águas, estabelecendo a primeira normativa com padrões de qualidade para a água e os usos compatíveis com esses padrões. A Resolução CONAMA nº 20 foi posteriormente substituída pela Resolução CONAMA nº 357 de 2005 e essa por sua vez foi complementada e alterada pela Resolução CONAMA nº 430 de 2011, que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes (CONAMA, 2011; GONÇALVES et al., 2017; MELO; DANTAS NETO; MARACAJÁ, 2012).

O final da década de 1980 no Brasil também ficou marcada por transformações políticas e processos de democratização das relações entre o Estado e a sociedade civil que culminaram na promulgação da Constituição Federal de 1988. A Constituição Federal de 1988 sistematizou a matéria ambiental, estabeleceu o direito ao meio ambiente sadio como um direito fundamental do indivíduo, citando ainda o dever do Poder Público e da coletividade de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (BRASIL, 1988; CAMPOS; STUDART, 2003). Campos e Studart (2003) colocam que as águas, como integrantes do patrimônio ambiental, são bens de uso comum de todos, consagrado na Constituição Federal de 1988, que publicizou as águas, repartindo o domínio entre a União e os Estados, ao mesmo tempo que, de

modo similar, Antunes (1998, apud CAMPOS; STUDART, 2003) registra que a Constituição caracterizou a água como um recurso econômico e previu o fim da privatização dos recursos hídricos, rompendo com a concepção até então vigente, considerando que essa apropriação privada anterior dos recursos hídricos ocasionou a geração de riquezas para seus usuários, com a distribuição das repercussões negativas sobre toda a coletividade.

Na década de 1990 houve as criações das primeiras leis estaduais que tratavam sobre os recursos hídricos, de acordo com a ANA (2021), foram pioneiros os Estados de São Paulo em 1991 e Ceará em 1992. Em 1995 foi integrada ao Ministério do Meio Ambiente a Secretaria de Recursos Hídricos, que possuía dentre outras competências a responsabilidade da gestão dos programas de irrigação no país. Essa década também ficou marcada pela promulgação da Lei nº 9.433 de 1997, a lei das águas no Brasil, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos. Campos e Studart (2003) comentam que com a nova lei das águas, a água passou a ser considerada um bem limitado e de valor econômico, sendo cobrados seus usos sujeitos a outorga, contudo, essa outorga não implica a alienação parcial das águas que são inalienáveis, mas sim o simples direito de seu uso. A Política Nacional de Recursos Hídricos ainda será tratada com mais detalhes um pouco mais adiante.

No ano 2000 surge, através da Lei nº 9.984, a Agência Nacional das Águas (ANA), que é a entidade federal responsável pela implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos. Atualmente passou a ser denominada Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico e está vinculada ao Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (ANA, 2021; BRASIL, 2020).

Em 2001 o Estado do Pará cria a Lei Estadual nº 6.381 que estabelece a Política Estadual de Recursos Hídricos em complementação aos fundamentos da Política Nacional de Recursos Hídricos. Costa et al. (2020) colocam que essa lei de 2001 representou o marco legal da Política Estadual de Recursos Hídricos no Pará, contudo, apesar deste marco, institucionalmente só passou a ser implantada em 2007, com a criação da Diretoria de Recursos Hídricos na Secretaria de Estado de Meio Ambiente, atualmente Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMAS/PA), e considerando os instrumentos presentes na legislação estadual de recursos hídricos, a outorga foi único implantado a partir de 2008.

Em 2006 foi editado o primeiro Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), um dos instrumentos da Política Nacional dos Recursos Hídricos que orienta a gestão das águas no Brasil através de um conjunto de diretrizes, metas e programas nas três escalas de gestão federal, estadual e municipal, construído em um amplo processo de mobilização e participação social. Em 2022 um novo PNRH foi aprovado pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos com horizonte temporal até 2040 (BRASIL, 2022).

A partir da década de 2010 até os dias atuais, o arcabouço legal sobre os recursos hídricos tem sofrido atualizações e a inclusão de regulamentações complementares, como o novo marco legal do saneamento básico, através da Lei nº 14.026, que atribuiu nova competência para a ANA editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, por exemplo. Dessa forma, o processo de gestão de recursos hídricos têm se consolidado no Brasil (ANA, 2021; BRASIL, 2020).

3.3.2 Política Nacional de Recursos Hídricos

Retomando à Lei nº 9.433 de 1997 em pauta, nota-se que o diploma trouxe a proposição de um novo paradigma de gestão dos recursos hídricos a partir da adoção de um modelo sistêmico de integração participativa, com avanços na negociação de conflitos, democratização dos recursos hídricos e na construção de um planejamento estratégico participativo. O gerenciamento das águas passou a utilizar-se de estratégias de planejamento estratégico por bacia hidrográfica, tomada de decisão de forma descentralizada e com ampla participação da sociedade civil organizada, e implementação dos instrumentos de gestão. Essa mudança de atitude foi ocasionada por desastres ecológicos que resultaram em poluição de corpos d'água e também da ocorrência de secas com graves consequências para alguns segmentos da sociedade (CAMPOS; STUDART, 2003).

É importante frisar ainda que a Lei nº 9.433 (BRASIL, 1997) prevê em seus fundamentos que a gestão de recursos hídricos deve ocorrer seguindo os princípios da descentralização e da participação social, considerando a bacia hidrográfica como unidade territorial de planejamento, utilizando-se dos instrumentos de gestão propostos, visando aos usos múltiplos da água. Assim, a gestão não deve dissociar aspectos de qualidade e quantidade da água, deve considerar a água como um bem

público dotado de valor econômico e deve ser integrada com outras políticas setoriais, em especial com a de meio ambiente, além de também considerar as especificidades regionais do país, em termos dos seus aspectos naturais, socioeconômicos e culturais e das políticas públicas de desenvolvimento regionais existentes (ANA, 2021; BRASIL, 1997).

Como citado anteriormente, um dos instrumentos de gestão é o Plano Nacional de Recursos Hídricos 2022-2040, que de acordo com o Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil da ANA (2021), o Plano é um documento que segue premissas que o direcionam ao contexto situacional atual da gestão de recursos hídricos no Brasil, pontuando-o a partir de aprendizagens ocorridas ao longo dos anos, como as experiências obtidas com as diversas e frequentes crises hídricas que ocorreram no período, e a integração com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), no contexto internacional.

O Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) é integrado a outros programas como o Programa Nacional de Revitalização de Bacias Hidrográficas e o Programa Nacional de Segurança Hídrica, fornecendo macro diretrizes nacionais de caráter estratégico e de articulação entre os demais entes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos para a aplicação dos seus Planos. O Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH) do Pará foi aprovado em 2021 e passou a compor esse conjunto de instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos.

O PNRH traça por exemplo um diagnóstico e prognóstico das pressões e temas relevantes identificados nas Unidades de Gestão de Recursos Hídricos (UGRH). A bacia Tocantins-Araguaia foi identificada nos temas relevantes de: restrição de oferta hídrica, ou seja, UGRH com maior extensão de trechos com balanço hídrico desfavorável (oferta versus demanda) e/ou com baixa resiliência no índice de segurança hídrica; intensidade atual dos usos da água, que significa que a UGRH possui usos múltiplos intensos em quantidade-diversidade, presença expressiva de polos de irrigação desenvolvidos e/ou parque hidrelétrico atual expressivo com impacto de regras operativas sobre a oferta hídrica e os demais usos da bacia; e expansão competitiva dos usos, que é a UGRH com tendência e alto potencial de expansão regional dos usos por irrigação ou geração hidrelétrica, com competição intrassetorial, da irrigação com a geração, ou desses com outros usos, especialmente pesca, turismo e navegação, além da preservação ambiental (BRASIL, 2022).

Um exemplo prático do tema relevante de restrição de oferta hídrica é tratado no PERH do Pará (SEMAS/PA, 2021), que coloca que em relação aos afluentes do rio Guamá e da baía de Guajará têm-se 60% das demandas associadas ao abastecimento público, dada a importância das sub-bacias para o abastecimento de Belém-PA e Região Metropolitana, onde está localizado o sistema integrado Bolonha-Utinga.

Em relação aos demais temas sensíveis mapeados PNRH, pode-se citar o volume das demandas consuntivas e não consuntivas como principais fatores causadores dos apontamentos de intensidade atual e expansão competitiva dos usos da água. Das demandas consuntivas o PERH do Pará (SEMAS/PA, 2021) relata que a demanda estimada para o setor de abastecimento público é de 22.356 L/s, para o setor industrial 12.618 L/s, para o setor minerário 17.207 L/s, para o setor pecuário 12.609 L/s e para o setor agrícola 13.970 L/s. As principais demandas não consuntivas envolvem a geração de energia elétrica no Estado, o transporte hidroviário e as atividades de turismo e lazer.

De acordo com o PNRH 2022-2040 (BRASIL, 2022) a segurança hídrica acontece quando existe disponibilidade de água em quantidade e qualidade suficientes para o atendimento das necessidades humanas, considerando-se ainda a prática das atividades econômicas e à conservação dos ecossistemas aquáticos, em conjunto com níveis aceitáveis de riscos relacionados a eventos extremos de secas e cheias, dessa forma, abrangendo quatro dimensões: econômica, humana, ecossistêmica e de resiliência. Em relação a dimensão humana é importante se conhecer quantas pessoas não estão cobertas pelo abastecimento de água potável, por exemplo. A dimensão econômica considera a necessidade de garantia de água para o desenvolvimento de atividades agropecuárias e da indústria, a dimensão ecossistêmica considera a preocupação com o controle da poluição e a compatibilização da qualidade de água para múltiplos usos, enquanto a dimensão de resiliência leva em consideração a necessidade de redução de riscos associados a eventos críticos como estiagens severas e inundações.

O relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (ANA, 2021) traz prognósticos de cenários que levam em consideração os efeitos das mudanças climáticas na UGRH do país até o ano de 2040, onde é estimado os níveis de comprometimento hídrico dos rios. Para o balanço hídrico com mudanças climáticas

foi selecionado um cenário potencialmente crítico, embora tão plausível quanto os demais, no qual houve o maior aumento da demanda para irrigação, além da redução da disponibilidade hídrica em parte do País. Assim, obteve-se um aumento dos atuais 3,1% de comprometimento entre as classes alta, muito alta e crítica, para 5,3% nas mesmas classes no cenário com mudanças climáticas para 2040.

De um modo geral, temperaturas mais altas intensificam substancialmente o ciclo hidrológico. Assim, as principais consequências das mudanças climáticas relacionadas aos recursos hídricos estão associadas aos aumentos da evapotranspiração (devido ao aumento da temperatura), mudanças nos padrões de precipitação, e um provável aumento na frequência de inundações e secas (ANA, 2021).

As informações demonstram que já existe um nível consolidado de gestão integrada dos recursos hídricos no Brasil, mas o processo ainda exige a efetivação de dispositivos previstos na Lei nº 9.433 como a criação do comitê de bacia do Tocantins-Araguaia e a aplicação de todos os instrumentos de gestão. Os prognósticos indicam que as mudanças climáticas podem comprometer ainda mais a segurança hídrica nas bacias até 2040. A seguir serão tratados os temas da escassez hídrica e do desenvolvimento sustentável no contexto dessa pesquisa.

3.4 ESCASSEZ HÍDRICA E OS OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

A disponibilidade hídrica é a quantidade de água efetivamente disponível para os diversos usos de forma duradoura ou permanente, contudo, essa estimativa de quantidade de água, ou vazão de referência, admite diferentes interpretações associadas às características da bacia e às finalidades do seu uso no planejamento e gerenciamento da bacia (CONEJO et al., 2009). Castro et al. (2019) comentam que o termo “disponibilidade” de água é representado por indicadores variados nos modelos de avaliação de impacto ambiental na categoria de escassez hídrica, por exemplo, há modelos que propõem a utilização da vazão natural anual dos corpos hídricos resultante do escoamento superficial, outros consideram a variação na precipitação mensal além da vazão natural, há quem utilize a vazão que permanece disponível

durante 90% do tempo no rio (Q_{90}) e quem considere o volume disponível em reservatórios além da vazão natural anual.

Outro ponto que pode-se destacar é que muitos estudos possuem o foco no aspecto quantitativo do recurso hídrico, ou seja, na escassez física da água como na definição da ISO (2014), que conceitua escassez hídrica como a medida pela qual a demanda por água se compara ao reabastecimento dessa água em uma área, sem levar em consideração a qualidade da água. Em outra linha, a FAO (2012) busca considerar outros termos, colocando a escassez de disponibilidade como a falta de água com qualidade aceitável para atender à demanda existente, incluindo fluxos naturais e também a dimensão da escassez econômica devido à falta de infraestrutura adequada, independente dos recursos hídricos disponíveis, causada por problemas financeiros, técnicos ou por falhas nas instituições responsáveis por garantir água confiável, segura e de forma equitativa a todos os usuários.

Nesse contexto, o estresse hídrico representa os sintomas dessa escassez hídrica, como o crescente conflito entre usuários e a competição pela água, diminuindo os padrões de confiabilidade dos serviços, provocando falhas nas colheitas e insegurança alimentar, enquanto o termo de falta de água é relacionado aos baixos níveis de abastecimento, escassez no abastecimento de água de qualidade, como resultado de recursos hídricos insuficientes em um determinado local ou determinado momento, ainda relacionado a falta de infraestrutura ou manutenção deficiente, resultados de variações anuais ou sazonais, mudanças climáticas ou fatores hidrológicos (FAO, 2012).

Independente da consideração de aspectos quantitativos e qualitativos, observa-se que a escassez hídrica tem um enfoque relativo, pois um determinado volume de água disponível pode ser suficiente, ou não, dependendo de quanto é utilizado na região considerada. Assim, diferenças tanto de demanda (quantidade e qualidade da água demandada pelos diferentes usuários) como de disponibilidade podem resultar no aumento do nível de escassez hídrica em uma região (CASTRO et al., 2019).

No Brasil, desde 2012, situações de escassez hídrica, caracterizadas por reduzidos níveis de vazões e de armazenamento dos reservatórios, têm sido observadas em diferentes regiões, onde pôde-se observar um padrão espacial de expansão das situações no território brasileiro, principalmente de secas intensas e

prolongadas, sendo que, nessas crises hídricas, sejam as provocadas por secas ou cheias, impactos socioeconômicos e ambientais são gerados. Os usos múltiplos da água podem ser afetados, podendo haver prejuízos ao abastecimento público de água e à produção agropecuária, por exemplo. As crises são causadas por um conjunto de fatores que vão desde causas naturais, como a variabilidade sazonal e interanual nos padrões de chuvas, até causas antrópicas, como possíveis mudanças climáticas globais e aspectos políticos e socioeconômicos como o aumento populacional, o aumento da demanda hídrica e a ineficiência de ações de gestão estruturantes e não-estruturantes (ANA, 2021).

Quando verificamos a dimensão global da escassez hídrica, o cenário é ainda mais grave, Mekonnen e Hoekstra (2016) concluíram em seu estudo sobre escassez hídrica que 4 bilhões de pessoas, ou seja, dois terços da população mundial, devem sofrer com escassez severa de água, durante pelo menos uma parte do ano, o que implica em uma situação ainda pior do que o sugerido por estudos anteriores, com estimativas entre 1,7 e 3,1 bilhões de pessoas que poderiam ser atingidas por essas situações, o que já era extremamente preocupante. Esses estudos subestimaram a escassez, pois consideraram unidades espaciais de bacias hidrográficas muito grandes, avaliaram a escassez em bases anuais e não mensais e desconsideraram a vazão mínima de permanência para sustentar os ecossistemas da bacia hidrográfica e os meios de subsistência da população.

Verifica-se que a escassez hídrica é um tema abrangente, transversal e de âmbito global, por isso estão concatenadas a esse tópico algumas das metas estabelecidas na agenda 2030 vinculada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos pela Organização das Nações Unidas (ONU, 2015). Dentre os 17 ODS, o ODS 6 trata de metas para alcançar o acesso universal a água potável, implantar a gestão integrada dos recursos hídricos, atingir um nível de saneamento básico e higiene adequados e equitativos, reduzir a poluição, melhorar a qualidade da água para proteger e restaurar ecossistemas aquíferos, além do aumento da eficiência e a sustentabilidade no uso da água associada a redução da escassez hídrica (ONU, 2015).

Nota-se que esse ODS abrange tanto critérios quantitativos, de acesso físico ao recurso hídrico, quanto qualitativo, ou seja, o acesso a água com qualidade satisfatória para os múltiplos usos. Os conflitos pelos usos múltiplos da água sejam

por motivação agrícola ou outros, são cada vez mais frequentes, pois a água doce em quantidade e qualidade suficiente é considerada um pré-requisito para a sobrevivência do homem e todo o ecossistema (BRANDÃO, 2020; RIBEIRO, 2019). A representação gráfica dos 17 ODS está exposto abaixo (Figura 12).

Figura 12 - Os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU.



Fonte: ONU (2015).

Dessa forma, considerando a necessidade de atender aos diversos usos e garantir a quantidade e qualidade da água no planeta, debatem-se modelos de gestão de recursos hídricos capazes de minimizar a indisponibilidade de água potável e diminuir a escassez hídrica. Nesse sentido, emergiu nos últimos anos conceitos que possibilitam a avaliação dessa gestão das águas através do desenvolvimento de indicadores. Esses indicadores caracterizam e monitoram a situação dos recursos hídricos pelo mundo, expondo o descompasso entre a disponibilidade e a demanda hídrica. Como exemplo, tem-se a pegada hídrica, um indicador multidimensional, que mostra os volumes de consumo de água por fonte e os volumes de poluição pelo tipo de poluição, onde todas as componentes de uma pegada hídrica total devem ser especificadas no tempo e no espaço. A pegada hídrica também é um indicador do uso da água que não considera apenas o seu uso direto por um consumidor ou produtor, mas, também, seu uso indireto, sendo considerado um indicador abrangente da apropriação de recursos hídricos (BLENINGER; KOTSUKA, 2015; ERCIN; ALDAYA; HOEKSTRA, 2011; HOEKSTRA; CHAPAGAIN, 2007; MARACAJÁ et al., 2012; RIBEIRO, 2019).

3.5 PEGADA HÍDRICA

Como visto no item 3.1 o tema relacionado a avaliação da pegada hídrica ainda é pouco difundido no Brasil considerando o baixo número de publicações e citações ao país nas bases de coleções de periódicos consultadas – *Web of Science* e *Scopus*, o que indica um grande campo em aberto de possibilidades de exploração do tema, pois a pegada hídrica é um tópico abrangente que pode medir a utilização e apropriação da água pelo ser humano na produção de bens e serviços, considerando seu uso consuntivo e sua degradação em cada processo, ou pode ser calculada para um produto, indivíduo, cidade ou país, assim como para uma organização pública ou privada, entre outras diversas aplicabilidades considerando ainda seu caráter geográfico e temporal (HOEKSTRA et al., 2011; MARINS, 2020). Dessa forma, objetiva-se neste item entender o processo de desenvolvimento do tema da pegada hídrica nos últimos anos, sua abrangência e possibilidades de aplicações.

3.5.1 As metodologias de avaliação da pegada hídrica da ISO e da WFN

Atualmente o conceito de pegada hídrica é globalmente aplicado principalmente por intermédio da aplicação da metodologia de duas organizações – a *Water Footprint Network* (WFN) e a *International Organization for Standardization* (ISO), sendo que a metodologia da WFN é orientada pelo livro *The Water Footprint Assessment Manual - Setting the Global Standard* (HOEKSTRA et al., 2011) enquanto a da ISO é orientada pela norma 14046:2014 *Environmental management — Water footprint — Principles, requirements and guidelines* (ISO, 2014).

De acordo com PFISTER (2017), os métodos são similares e abrangem o cálculo do uso da água e seus impactos, mas diferem na maneira como alcançam e comunicam os resultados. Marins (2020) explica que a metodologia da WFN se concentra no volume de água consumido, é mais eficiente na tomada de consciência sobre a quantidade de água apropriada pelo homem e menos complexa para aplicação, enquanto a metodologia da ISO é mais eficiente na demonstração dos potenciais impactos e riscos relacionados ao uso dos recursos hídricos, contudo, necessita de maiores conjuntos de dados para aplicação, se tornando mais complexa.

Em relação a origem, a metodologia de avaliação da pegada hídrica da ISO está associada a outra norma mais ampla que foi sua precursora, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Campolina, Sigrist e Moris (2015) explicam que a concepção da Análise do Ciclo de Vida (ACV) teve início durante a primeira crise do petróleo, provocando uma busca impertinente por fontes alternativas de energia, despertando o mundo para uma melhor utilização dos recursos naturais. No Brasil, tanto a ACV quanto as legislações ambientais começaram a obter maior destaque principalmente após a realização da ECO 92, no Rio de Janeiro, sendo que a ACV é formalmente iniciada em 1993 com a criação de um subcomitê do Grupo de Apoio à Normalização (GAN) dedicado especialmente à Avaliação do Ciclo de Vida. Em 1998 as atividades passam a ser regidas no Brasil pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) que regulamenta o método através da série de normas ISO 14000 a partir do ano de 2001 (CAMPOLINA; SIGRIST; MORIS, 2015; MAIA, 2013; SANTOS et al., 2011).

A ACV passou a ser utilizada como um indicador ambiental na análise dos possíveis impactos ambientais durante todas as etapas do ciclo de vida de um produto, sistema ou serviço, como uma exigência na busca pela eficiência ecológica, permitindo ainda o desenvolvimento sistemático dessa análise ambiental. A ACV inclui a compilação e a avaliação de entradas, saídas e impactos ambientais potenciais por todo seu ciclo de vida do produto, processo ou serviço, de modo a analisar desde a extração da matéria-prima a ser utilizada no processamento até a disposição final do produto em questão passando por todas as etapas de sua cadeia produtiva e por seu uso (CAMPOLINA; SIGRIST; MORIS, 2015; MORAES, 2022; MOURAD et al., 2007).

Contudo, apesar de ser um bom indicador de gestão ambiental, a ACV era limitada em relação ao uso dos recursos hídricos no processo, pois os dados do inventário do ciclo de vida possuem apenas informações sobre o volume de água captado para os sistemas de produção, com origem e destino dessa água pouco explorados, ignorando assim potenciais consequências ambientais, que poderiam representar significativas degradações na qualidade e disponibilidade da água. Dessa forma, no âmbito da ACV foi criado o grupo de trabalho denominado *Water Use Life Cycle Assessment* (WULCA) com o objetivo de desenvolver um método integrativo, alinhando a estrutura da Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV) com avaliação dos impactos associados ao uso consuntivo da água. Os trabalhos realizados pelas

equipes da ACV resultaram na edição da norma ISO 14046:2014 baseada na norma de ACV regida pela ISO 14044:2009, como citado anteriormente (BAYART et al., 2010; KOEHLER, 2008; KOUNINA et al., 2013; LANDU; BRENT, 2006; MARINS, 2020). A norma ISO 14046:2014 traz as seguintes definições para pegada hídrica e avaliação da pegada hídrica:

Pegada Hídrica – métrica(s) que quantifica(m) os impactos ambientais potenciais relacionados à água. Se os impactos ambientais potenciais relacionados à água não forem completamente avaliados, então o termo ‘pegada hídrica’ só pode ser aplicado com um qualificador. Um qualificador é uma ou várias palavras adicionais usadas em conjunto com o termo ‘pegada hídrica’ para descrever a(s) categoria(s) de impacto estudada(s) na avaliação da pegada hídrica como, por exemplo, ‘pegada de escassez hídrica’, ‘pegada de eutrofização hídrica’, ‘pegada hídrica não abrangente’. Avaliação da pegada hídrica – compilação e avaliação das entradas, saídas e dos impactos ambientais potenciais relacionados à água utilizada ou efetuada por um produto, processo ou organização (ISO, 2014).

A origem da pegada hídrica da WFN teve início na década de 1990, com a pesquisa de Allan (1992) que realizou um levantamento da eficiência econômica do uso da água na produção de alimentos nos países do Oriente Médio e no Norte da África, onde identificou que produtos agrícolas que demandavam alto consumo de água e tinham retorno econômico insignificante nessas regiões semiáridas, levando a conclusão de que esses países com déficit hídrico deveriam alocar esse recurso em atividades com maior retorno econômico e importar os alimentos e outros produtos que demandassem de muita água para suprir suas necessidades internas. Expandindo a pesquisa posteriormente, Allan (1996) apresentou o conceito de “água virtual” como o volume de água incorporada em *commodities*, que poderiam ser produzidas com mais eficiência em locais com maior disponibilidade hídrica para serem distribuídas para países que apresentam problemas, assim, esse conceito foi apresentado como uma solução parcial para os problemas de escassez nesses países do Oriente Médio e do Norte da África (ALLAN, 1992, 1996, 1998; HADDADIN, 2003).

Utilizando a abordagem de água virtual de Allan (1996), Hoekstra e Hung (2002) propuseram a criação de um indicador para medir a sustentabilidade do uso global da água e a pressão que a apropriação desse recurso exerce no planeta, com o objetivo de orientar políticas globais mais eficientes para alocação do uso da água. Desse modo, o estudo quantificou o volume de todos os fluxos comerciais de “água virtual” entre as nações no período entre 1995 e 1999 e comparou os “balanços virtuais” desse comércio hídrico, podendo verificar a autossuficiência e a dependência

hídrica de cada país. Dessa forma, o termo “pegada hídrica” foi apresentado pela primeira vez pelos autores, em analogia ao termo “pegada ecológica”, já difundido na época, o qual representa a área total de terra necessária para sustentar uma determinada região, enquanto pegada hídrica representaria a água necessária para manter uma determinada população, sendo a soma do uso doméstico de água e da importação líquida de água virtual, proposta como uma medida da apropriação real de uma nação dos recursos hídricos globais (HOEKSTRA, 2008; HOEKSTRA; HUNG, 2002; SILVA et al., 2013).

Em 2008, Hoekstra, juntamente com empresas, entidades da sociedade civil, de organizações multilaterais e acadêmicas, fundaram a WFN, uma plataforma global de colaboração entre essas empresas, organizações e indivíduos sobre a temática dos recursos hídricos com o objetivo de demonstrar como a avaliação da pegada hídrica pode ajudar a superar os desafios do uso insustentável da água. Em 2009 foi publicada a primeira edição do Manual de Avaliação da Pegada Hídrica, que foi atualizada, revisada e expandida para a versão atual, lançada em 2011. Desde então, a metodologia vem sendo aplicada, se difundindo e se consolidando através da publicação de diversos estudos calculando a pegada hídrica de indivíduos, produtos e nações (HOEKSTRA et al., 2011; WFN, 2024). O conceito de pegada hídrica proposto pela WFN é apresentado no seu manual da seguinte maneira:

A pegada hídrica é um indicador do uso da água que considera não apenas o seu uso direto por um consumidor ou produtor, mas, também, seu uso indireto. A pegada hídrica pode ser considerada como um indicador abrangente da apropriação de recursos hídricos, vis a vis ao conceito tradicional e restrito de captação de água. A pegada hídrica de um produto é o volume de água utilizado para produzi-lo, medida ao longo de toda cadeia produtiva. É um indicador multidimensional, que mostra os volumes de consumo de água por fonte e os volumes de poluição pelo tipo de poluição; todas as componentes de uma pegada hídrica total são especificadas geográfica e temporalmente. A pegada hídrica azul de um produto refere-se ao consumo de água azul (superficial e subterrânea) ao longo de sua cadeia produtiva. ‘Consumo’ refere-se à perda de água (superficial ou subterrânea) disponível em uma bacia hidrográfica. A perda ocorre quando a água evapora, retorna a outra bacia ou ao mar ou é incorporada em um produto. A pegada hídrica verde refere-se ao consumo de água verde (água de chuva, desde que não escoe). A pegada hídrica cinza refere-se à poluição e é definida como o volume de água doce necessário para assimilar a carga de poluentes, a partir de concentrações naturais e de padrões de qualidade da água existentes (HOEKSTRA et al., 2011).

Destarte, ambas metodologias têm o objetivo de estudar o impacto do uso da água pelas ações antropogênicas e ajudar na preservação dos recursos hídricos, contudo, se diferenciam especialmente no estágio do inventário e na avaliação de

impacto. A da ISO tem o esforço concentrado na análise do impacto e a da WFN concentra seus esforços na fase de levantamento volumétrico do uso da água, ou seja, há uma diferença no foco. Enquanto o uso da água é apenas uma parte da metodologia da ISO que tende a quantificar os possíveis impactos ambientais gerados por uma atividade humana como, por exemplo, mudanças climáticas, qualidade do ar, uso e ocupação do solo, a metodologia segundo a WFN tem o foco na gestão dos recursos hídricos e se concentra na análise da alocação e uso sustentável da água sob a perspectiva da água ser um recurso limitado. A metodologia da WFN define a pegada hídrica como um indicador espacial e temporalmente explícito da apropriação de água, onde as pegadas hídricas são contextualizadas, por exemplo, comparando-as com as de atividades ou produtos com as melhores práticas do setor e comparando os totais dessas pegadas hídricas com a disponibilidade de água nas bacias hidrográficas (BOULAY; HOEKSTRA; VIONNET, 2013; KOEHLER, 2008; PFISTER, 2017).

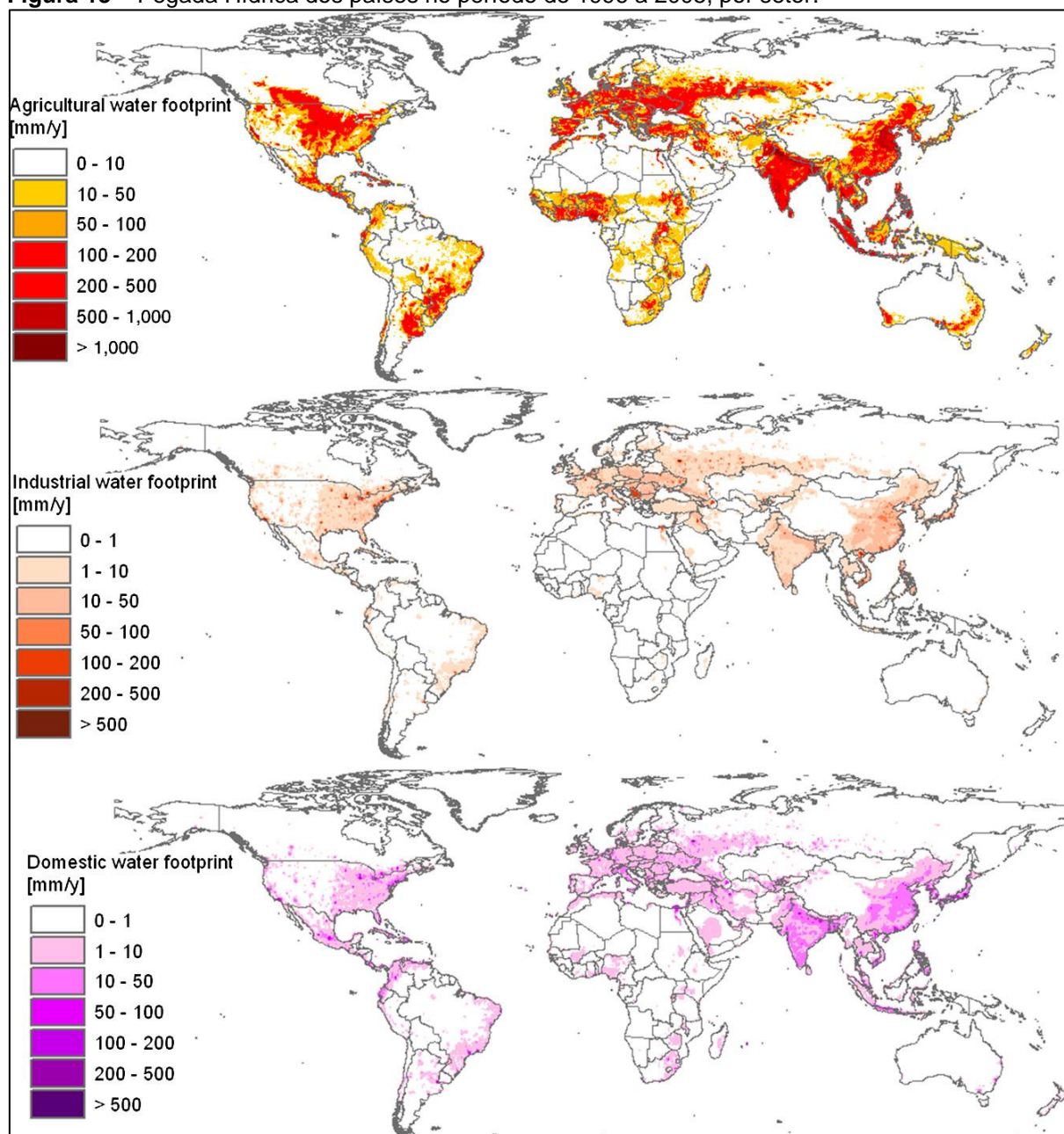
Como visto, as metodologias de avaliação da pegada hídrica da ISO e da WFN possuem características e peculiaridades que são preponderantes na decisão de escolha entre a aplicação de uma ou outra em um estudo. Neste trabalho, justificou-se a utilização da metodologia da WFN em função da sua afinidade maior com o setor agrícola e seu foco na gestão sustentável dos recursos hídricos, pontos que se interconectaram com a temática desta pesquisa e que foram corroborados com os resultados da pesquisa bibliométrica realizada no item 3.1 que demonstrou que a metodologia da WFN é a mais utilizada dentro da área de escopo deste trabalho.

3.5.2 Abrangência e aplicações da metodologia de avaliação da pegada hídrica da WFN

A avaliação da pegada hídrica da WFN pode ser aplicada para diversas finalidades como analisar a etapa de um processo, um produto, um consumidor, um grupo de consumidores, uma área delimitada geograficamente, um negócio, um setor de negócios e assim por diante. Por exemplo, para um produto, pode ser realizado a somente a soma das pegadas hídricas das etapas do processo de produção, já no caso de um país, é necessário levar em consideração muitos outros fatores e variáveis (HOEKSTRA et al., 2011). Nesse sentido, a WFN organizou a publicação de um

estudo que mapeou a pegada hídrica verde, azul e cinza de diversas culturas agrícolas e alguns de seus derivados em todo o mundo no período entre 1996 e 2005 (MEKONNEN; HOEKSTRA, 2011), sendo que os valores obtidos a partir deste estudo servem como balizadores de referência para outras pesquisas que o sucederam ao redor do mundo. Outro exemplo semelhante é a pesquisa de Hoekstra e Mekonnen (2012) que apresentaram um levantamento onde é possível estimar a pegada hídrica mundial de forma categorizada no setor agrícola, industrial e doméstico (Figura 13).

Figura 13 – Pegada Hídrica dos países no período de 1996 a 2005, por setor.



Fonte: Hoekstra e Mekonnen (2012).

Esses estudos são essenciais para se compreender as zonas de maior pressão sobre os recursos hídricos e identificar alguns dos principais fatores associados a essa pressão. Nesse caso representado na Figura 13, por exemplo, nota-se que a pegada hídrica da agricultura é substancialmente maior do que a dos outros setores e no Brasil assume valores mais altos nas regiões do Centro-Oeste, Sudeste e Sul.

Outros estudos globais relevantes também foram feitos com o objetivo de realizar estimativas da pegada hídrica relacionada com a agricultura, que de acordo com o Hoekstra e Mekonnen (2012), é responsável por 92% da pegada hídrica mundial em comparação com os demais setores. A pesquisa de Mialyk et al. (2024) estimou a pegada hídrica e o consumo de água verde e azul, através de um modelo global, no período de 1990 a 2019, de 175 culturas e compararam seus resultados aos modelos de Mekonnen e Hoekstra (2011), já mencionada, Chiarelli et al. (2020), Siebert e Döll (2010) e Liu e Yang (2010). Apesar das limitações e incertezas presentes em todos os estudos, essas estimativas e comparações trazem análises e considerações valiosas para o desenvolvimento de estratégias voltadas a gestão dos recursos hídricos, melhorias de sustentabilidade e indicativos de possíveis respostas à pontos críticos da pegada hídrica.

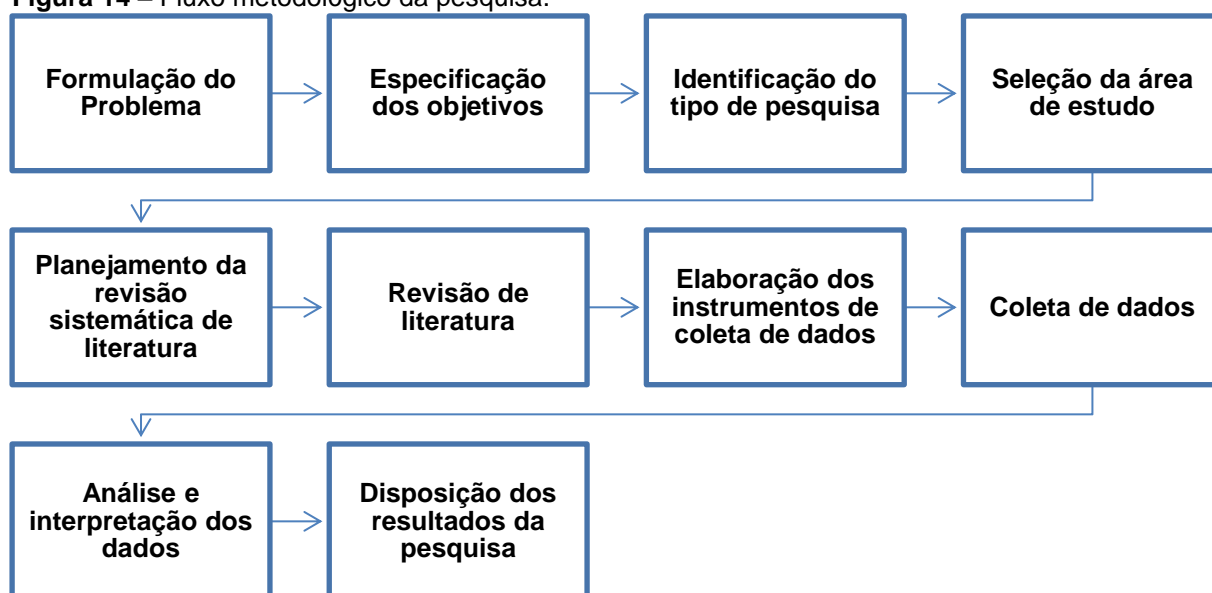
Da Silva et al. (2016) e Herrera (2019) também abordaram a temática a nível nacional com o objetivo determinar a pegada hídrica e os fluxos de água virtuais associados com o comércio internacional de *commodities*, uma importante pauta que permeia os conceitos básicos desde a origem dos estudos sobre pegada hídrica, como comentando no item 3.5.1, que trazem reflexões sobre o valor econômico da água virtual incorporada à produção brasileira, o volume exportado, bem como outras questões ligadas a escassez de água, a autossuficiência ou a dependência hídrica por região.

No Brasil há diversos estudos direcionados a avaliação da pegada hídrica em diferentes âmbitos, sendo que, um levantamento realizado por Marins (2020) apontou que a maioria dessas pesquisas se concentraram no segmento agrícola e de criação de animais, sendo que das 59 publicações analisadas pela autora, 34 pertenciam a esse segmento, onde 32 foram realizadas com base na metodologia da WFN e somente 2 com referencial metodológico da ISO, o que demonstra ainda mais a correlação do escopo deste estudo com a metodologia selecionada.

4. METODOLOGIA

Este estudo possui caráter descritivo e exploratório, onde a pesquisa exploratória tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito, enquanto os objetivos de uma pesquisa descritiva se concentram em identificar características de determinada população ou objeto de estudo (GIL, 2002). Considerando a necessidade de acompanhamento das ações correspondentes as etapas deste estudo, foi elaborado um esquema com o fluxo metodológico da pesquisa que está apresentado sob a forma do diagrama a seguir (Figura 14).

Figura 14 – Fluxo metodológico da pesquisa.



Fonte: Autor (2024).

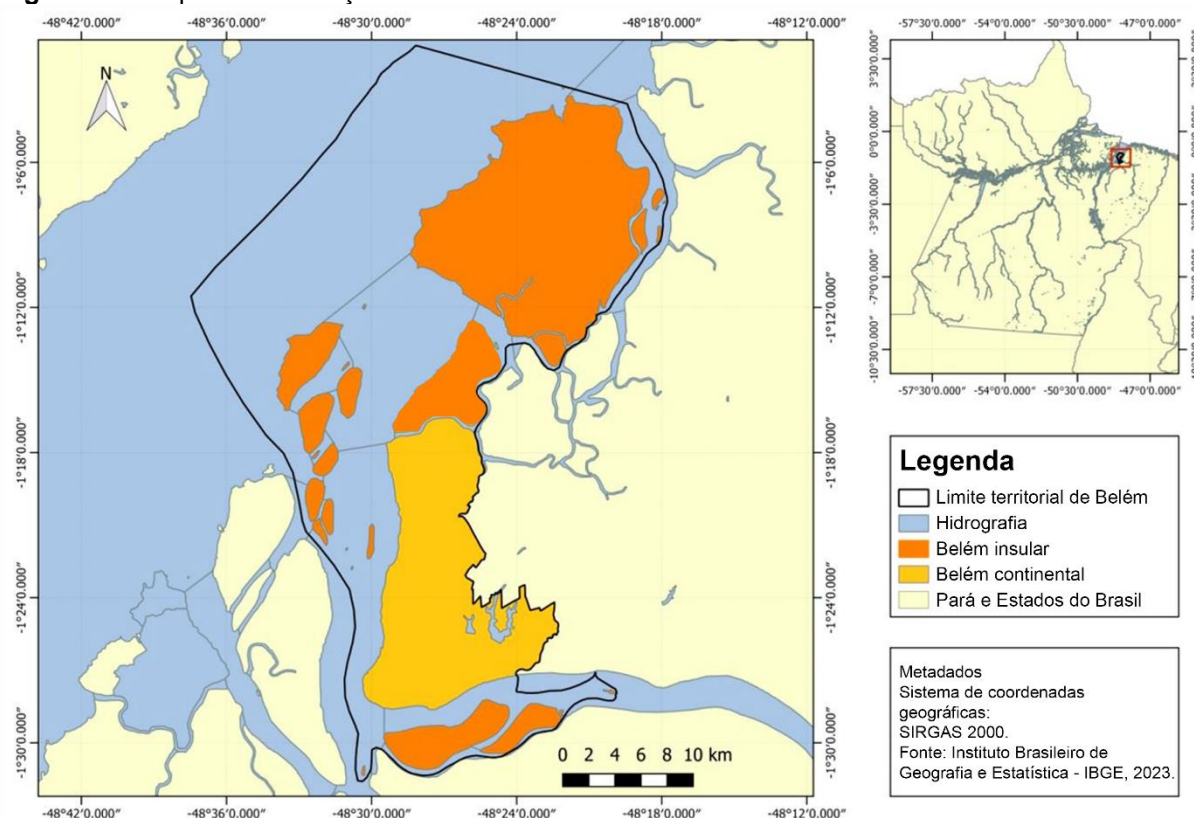
Este estudo está fundamentado na aplicação de uma metodologia de pesquisa através da coleta e análise de dados quantitativos para a avaliação da pegada hídrica, proposta no Manual de Avaliação da Pegada Hídrica (HOEKSTRA et al., 2011), organizado pela *Water Footprint Network* (WFN), organização internacional pioneira e ainda referência global nos estudos sobre o assunto. A pesquisa empregou também a aplicação de recursos multivariados de coleta de informações, através de pesquisa bibliográfica, bancos de dados de acesso livre, legislações e normas de referência, entrevista não estruturada, além do uso de softwares específicos para tratamento dessas informações, que serão mais detalhados no decorrer desse capítulo.

4.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é o município de Belém-PA, selecionado arbitrariamente por critérios de conveniência, justificado também pelo contexto do estado da arte identificado neste estudo. Como citado anteriormente, o município de Belém-PA é a capital do Estado do Pará, maior produtor de açaí do Brasil (IBGE, 2022), sendo também a maior e mais populosa cidade de toda a UGRH do Tocantins-Araguaia (ANA, 2015) a qual está inserida, com uma população de 1,3 milhão de habitantes, distribuídos em uma área de 1.059,5 km² (IBGE, 2024).

Geograficamente Belém-PA está localizada em torno das coordenadas de latitude 01° 27' 21" ao Sul do equador e de longitude 48° 30' 16" a Oeste de Greenwich. É abastecida pela foz do rio Guamá na parte Sul e pela baía do Guajará no restante de sua extensão Oeste (PMB, 2008). As plantações de açaí se concentram majoritariamente nas ilhas de Belém-PA, que também configuram a sua zona rural. Abaixo é exibido um mapa de localização de Belém-PA (Figura 15) com destaque para o contraste entre sua região insular e continental.

Figura 15 - Mapa de localização da área de estudo – Belém-PA.



Fonte: Autor (2024).

A Prefeitura Municipal de Belém-PA (PMB) adota para essa zona rural a nomenclatura de Macrozona do Ambiente Natural, tendo como referência as características do meio ambiente preservado, corresponde às áreas não urbanizadas das ilhas do município (Belém insular), enquanto a Macrozona do Ambiente Urbano corresponde às áreas urbanizadas do território, situando-se predominantemente na porção continental do município (Belém continental) e em partes específicas das ilhas de Caratateua (Outeiro), Mosqueiro e Cotijuba (PMB, 2008).

Em relação as plantações de açaí na área, de acordo com o Censo Agro (IBGE, 2017), Belém-PA possui 601 estabelecimentos agropecuários, ocupando 6,17 mil hectares, dos quais, 392 estabelecimentos possuem lavouras permanentes no município, sendo que 81% destes, declaram possuir 50 pés ou mais da palmeira de açaí, com uma estimativa de 977 mil pés existentes e valor de produção de R\$ 5,63 milhões no ano de 2017, o que demonstra a importância do fruto na região.

Mesmo a Região Metropolitana de Belém-PA tendo o maior Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) no Estado do Pará, calculado em 0,745 em 2021, considerado alto (escala da 0 a 1, sendo 1 o mais alto), a cidade apresenta somente 54,8% dos domicílios com acesso a água encanada e 11,9% com esgotamento sanitário adequado (PNUD, 2021). Dados do SNIS (2023) informam que o serviço de água e esgoto no município é gerido pela Companhia de Saneamento do Pará (Cosanpa), onde há registrado um consumo per capita de 141,3 L/hab.dia e perdas na distribuição na ordem de 35,1%, ou seja, além da baixa cobertura no atendimento de água e esgoto à população, os dados mostram uma baixa eficiência e efetividade no serviço prestado, em descompasso com a política nacional de saneamento básico, que coloca como seu primeiro princípio fundamental a universalização e a efetiva prestação dos serviços de saneamento básico no país (BRASIL, 2007).

4.2 COLETA DE DADOS

Foram utilizadas fontes primárias e secundárias na coleta de dados deste estudo. Como fonte primária foi realizada uma entrevista não estruturada com o produtor agrícola Paulo Lobato durante a visita técnica ao sítio Fruto da Fé, descrita no Apêndice “A”. Como fontes secundárias foram contribuintes informações bibliográficas, documentais, plataformas, sites e sistemas das principais instituições

com notória relevância nas temáticas de agricultura, gestão de recursos hídricos, saneamento básico, meio ambiente e sustentabilidade no Brasil: Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA); Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa); Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA); Secretaria de Estado de Desenvolvimento Agropecuário e da Pesca do Pará (SEDAP/PA); Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Pará (SEMAS/PA); Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Belém-PA (SEMMA); *Food and Agriculture Organization* (FAO); Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), dentre outros. Também foram realizadas consultas a relatórios e estudos de instituições públicas e privadas, consultas a informações de bancos de dados de domínio público, pesquisas em dispositivos legais e normativos relacionados aos setores descritos acima.

4.3 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA PEGADA HÍDRICA

A metodologia de avaliação da pegada hídrica utilizada neste estudo é proposta por Hoekstra et al. (2011) no livro *The Water Footprint Assessment Manual - Setting the Global Standard* (Manual de Avaliação da Pegada Hídrica – Estabelecendo o Padrão Global) vinculado a *Water Footprint Network* (Rede da Pegada Hídrica), que é, conforme citado anteriormente, uma plataforma global de colaboração entre empresas, organizações e indivíduos sobre a temática dos recursos hídricos. A metodologia consiste em uma ferramenta analítica para auxiliar a compreensão sobre como as atividades humanas interagem com a escassez hídrica e a poluição da água, seus impactos relacionados e o que pode ser feito para assegurar que essas atividades não contribuam para um uso não sustentável dos recursos hídricos.

A metodologia decompõe a pegada hídrica em 3 componentes: pegada hídrica verde (PH_{verde}), pegada hídrica azul (PH_{azul}) e pegada hídrica cinza (PH_{cinza}). A pegada hídrica verde diz respeito a água da chuva que é consumida pelas plantações e pela vegetação natural no local de estudo, a pegada hídrica azul é relativa ao consumo de água superficial e subterrânea, enquanto a pegada hídrica cinza representa a quantidade hipotética de água necessária para diluir a água poluída, até um determinado padrão de qualidade. Neste estudo, as 3 componentes da pegada hídrica serão estimadas com dados locais da cultura do açaí para a região da área de estudo,

considerando informações entre o período de 2017 a 2022. A memória de cálculo detalhando a resolução das equações apresentadas a seguir, está detalhado no Apêndice “B” deste estudo. Assim, a pegada hídrica total (PH_{total} , m^3/ton) do açaí será determinada pela soma das 3 componentes verde, azul e cinza, descritas abaixo na Equação 1.

$$PH_{total} = PH_{verde} + PH_{azul} + PH_{cinza} \left[\text{volume}/\text{massa} \right] \quad (1)$$

4.3.1 Pegada Hídrica verde, azul e cinza

Para o caso de plantações como o açaí, no cálculo da pegada hídrica verde e azul deve-se considerar principalmente os fatores do volume de água da chuva e de água armazenada no solo por irrigação que foi consumido durante o ciclo de vida da palmeira, se for o caso de plantações irrigadas. Esses dados são obtidos através da determinação da evapotranspiração da cultura para cada componente, ou seja, verde e azul, que tornam possível estabelecer a demanda hídrica da cultura. A relação entre a demanda hídrica da cultura (DHC , m^3/ha) e a produtividade da plantação ($Prtv$, ton/ha) determinarão as pegadas hídricas azul e verde. As Equações 2 e 3 a seguir detalham as fórmulas utilizadas no cálculo das pegadas hídricas verde e azul.

$$PH_{verde} = \frac{DHC_{verde}}{Prtv} \left[\text{volume}/\text{massa} \right] \quad (2)$$

$$PH_{azul} = \frac{DHC_{azul}}{Prtv} \left[\text{volume}/\text{massa} \right] \quad (3)$$

Onde $Prtv$ refere-se à produtividade da cultura (ton/ha), com valores baseados em estatísticas de produção agrícola, ou seja, neste estudo serão utilizados os dados consolidados mais recentes informados pelos boletins anuais de Produção Agrícola Municipal (PAM) do IBGE, o Censo Agro do IBGE, o relatório de Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura (PEVS) do IBGE e o relatório de produção agrícola da SEDAP/PA. A variável DHC_{verde} refere-se a demanda hídrica verde (m^3/ha) enquanto a DHC_{azul} refere-se a demanda hídrica azul (m^3/ha), calculadas com base na evapotranspiração diária acumulada das palmeiras de açaí (ET_{verde} e ET_{azul} , mm/dia),

que somadas durante determinado período estimam os valores dessa demanda hídrica. Assim, serão aplicadas as fórmulas descritas nas Equações 4 e 5 abaixo para a determinação da DHC_{verde} e DHC_{azul} .

$$DHC_{verde} = 10 \cdot \sum_{d=1}^{pdc} ET_{verde} \left[volume / \acute{area} \right] \quad (4)$$

$$DHC_{azul} = 10 \cdot \sum_{d=1}^{pdc} ET_{azul} \left[volume / \acute{area} \right] \quad (5)$$

Onde 10 é um fator de conversão de profundidade da água para volumes de água por superfície terrestre (mm para m^3/ha), multiplicado pelo somatório de valores acumulados das evapotranspirações verde e azul (ET_{verde} e ET_{azul} , mm/dia), respectivamente, ao longo do período desde o plantio ($d=1$) até o período de colheita (pdc) em dias. Entretanto, para os casos de culturas perenes e sistemas agroflorestais, como é o caso típico das plantações de açaí em Belém-PA, a metodologia recomenda que se considere nesse somatório o período de um ano, ou seja, 365 dias, que será o adotado neste estudo para o período que os valores da evapotranspiração serão somados.

A partir desse ponto, para se encontrar os valores relativos as ET_{verde} e ET_{azul} serão utilizados os programas *Cropwat® 8.0* (FAO, 2010) e *Climwat® 2.0 for Cropwat* (FAO, 2006), desenvolvidos e disponibilizados pela FAO desde o início dos anos 1990 como ferramentas de suporte para a produção agrícola em todo o mundo (ALLEN et al., 1998). O *Climwat® 2.0 for Cropwat* é um programa capaz de gerar arquivos com dados bioclimáticos e de precipitações compilados a partir de médias históricas, de acordo com a escolha de uma determinada localização geográfica. Os arquivos gerados com esses dados bioclimáticos e de precipitações servem como entradas para o programa *Cropwat® 8.0*, que é o responsável por fornecer outras informações importantes para a aplicação dessa metodologia. Os parâmetros e configurações de uso desse programa serão abordados e descritos no subitem 4.3.2 adiante.

A componente cinza da pegada hídrica do açaí (PH_{cinza} , m^3/ton) será calculada multiplicando-se a taxa de aplicação por hectare dos agroquímicos nas plantações (TAQ, kg/ha), pela fração de lixiviação/escoamento (α), dividida pela concentração máxima aceitável ($C_{m\acute{a}x}$, kg/ m^3), menos a concentração natural do poluente em

questão (C_{nat} , kg/ m³), divididas então pela produtividade da cultura (P_{rtv} , ton/ha), conforme a Equação 6.

$$PH_{cinza} = \frac{(\alpha \cdot TAQ)/(C_{m\acute{a}x} - C_{nat})}{P_{rtv}} \left[volume/massa \right] \quad (6)$$

Os valores de produtividade (P_{rtv} , ton/ha) seguirão a mesma referência das pegadas hídricas verde e azul, considerando os dados consolidados mais recentes do IBGE e da SEDAP/PA. Os poluentes citados na metodologia originam-se fundamentalmente dos fertilizantes com os macronutrientes potássio, magnésio, fósforo, nitrogênio, cálcio e assim por diante, sendo necessário se contabilizar somente o fluxo residual para os corpos d'água do poluente mais crítico, onde recomenda-se adotar o nitrogênio para a aplicação dessa fórmula.

Assim, neste estudo será utilizado a proporção de nitrogênio presente no composto NPK 10-28-20 aplicável para a fertilização dos plantios de açaí de acordo com a literatura de referência de Nogueira, Figueiredo e Müller (2005), que apresentaram um manual sobre os sistemas de produção do açaí organizado pela Embrapa Amazônia Oriental, onde recomenda-se a utilização para pés de açaí em fase produtiva o modo de 3 aplicações por ano de 290g de NPK 10-28-20 por pé. Considerando-se uma distribuição média de 357 pés de açaí por hectare, ainda de acordo com Nogueira, Figueiredo e Müller (2005), assim, isolando-se o componente nitrogênio do composto NPK, isso significa a aplicação de 53,6 kg/ha N a cada ano.

Para o fator alfa (α) será adotada uma taxa de 10% por cento de lixiviação para fertilizantes nitrogenados, proposta por Chapagain et al. (2006), recomendada na própria metodologia da WFN.

Para o padrão de concentração máximo de lançamento do nitrogênio nos corpos d'água será adotado os valores estabelecidos na Resolução nº 430 (CONAMA, 2011) para lançamento de efluentes com nitrogênio em corpos receptores de água doce Classes 1 e 2, que determina a concentração máxima de nitrogênio amoniacal total em 20,0 mg/L N, ou seja, 0,02 kg/m³ N.

Para a determinação da concentração natural de referência aplicável neste estudo, utilizou-se os parâmetros de análise da qualidade da água disponíveis na plataforma HidroWeb (ANA, 2024) da estação de código 31645001, localizada em Belém-PA às margens do rio Guamá, que é o corpo hídrico que abastece a cidade no

seu eixo Sul. No último dado disponível de coleta realizada em 03/04/2022 foi aferido a concentração de nitrogênio total de 2,0 mg/L N, ou seja, 0,002 kg/ m³ N.

4.3.2 Cropwat®

O *Cropwat*® 8.0 é um dos programas citados na metodologia da WFN (HOEKSTRA et al., 2011) recomendados na geração de modelos capazes de determinar os valores de evapotranspiração de diferentes tipos de culturas, a partir de informações bioclimáticas, de precipitações, do solo e fatores específicos da própria plantação em estudo. O programa *Cropwat*® foi desenvolvido pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) especificamente para dar suporte as decisões quanto ao manejo da irrigação (MINUZZI; RIBEIRO, 2012). O programa incorpora procedimentos para evapotranspiração da cultura de referência e as necessidades de água da cultura, permitindo assim uma simulação do uso da água várias condições de clima, cultura e solo (SURENDRAN et al., 2015).

Outro ponto importante a ser destacado é que a utilização desse programa é recorrente nesse tipo de estudo, sendo aplicado na avaliação da pegada hídrica de diversos tipos de culturas como a banana, limão, trigo e milho (FERRERO et al., 2022; LI; YIN; ZHANG, 2023; RATTANAPAN; OUNSAHEHA, 2021).

O primeiro passo para a operacionalização do programa *Cropwat*® 8.0 é a obtenção dos dados bioclimáticos e de precipitação do local de desenvolvimento da plantação a ser modelada. Para as informações bioclimáticas, as seguintes variáveis são requeridas como entrada: temperatura mínima (T_{\min} , °C); temperatura máxima (T_{\max} , °C); umidade relativa (H, %); vento (U, km/dia), insolação (I_s , horas/dia); irradiação solar (R_s , MJ/m².dia); e evapotranspiração de referência (ET_0 , mm/dia). Devem ser informados os valores consolidados mês a mês de janeiro a dezembro e a média de cada variável no período durante o ano.

Para as informações de precipitação a única variável requerida é a chuva acumulada (P, mm/mês), também considerando valores consolidados mês a mês de janeiro a dezembro, mais o total das chuvas acumuladas no período do ano. O programa permite a adição manual dos valores de todas as variáveis, contudo, neste estudo adotou-se a base de dados disponível no programa *Climwat*® 2.0 for *Cropwat*, tanto para os dados bioclimáticos, quanto para os dados de precipitação,

considerando que Belém-PA está inserida na lista de localizações de onde o programa possui dados consolidados.

Após o carregamento dos dados bioclimáticos, o modelo do programa faz a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0 , mm/dia), com base na fórmula de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998), disposta na Equação 7 abaixo.

$$ET_0 = \frac{0,408 \cdot \Delta(R_n - G) + \left(\frac{900 \cdot U_2}{T + 237}\right) \cdot (e_a - e_s)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot U_2)} \left[\text{profundidade} / \text{tempo} \right] \quad (7)$$

Em que ET_0 é a evapotranspiração de referência (mm/dia), R_n é o saldo de radiação na superfície das culturas ($\text{MJ/m}^2.\text{dia}$), G é fluxo de calor no solo ($\text{MJ/m}^2.\text{dia}$); T é a média diária da temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$); U_2 é a velocidade do vento a 2m de altura (m/s), e_a é a pressão real de vapor (kPa), e_s é pressão da saturação de vapor (kPa), logo a diferença entre e_a e e_s significa o déficit de saturação de vapor (kPa), Δ é a declinação da curva de saturação de vapor da água ($\text{kPa}/^{\circ}\text{C}$) e γ é o fator psicrométrico ($\text{kPa}/^{\circ}\text{C}$).

Após o carregamento dos dados de precipitação, o modelo do programa faz a estimativa da precipitação efetiva no local (P_{eff} , mm/mês), que deve ser sempre menor do que a quantidade total de chuva precipitada, pois considera-se que nem toda água de chuva pode ser utilizada pela cultura, graças ao escoamento superficial ou a percolação, por exemplo. A metodologia de cálculo adotada para esse ajuste entre a precipitação aferida e a precipitação efetiva foi o método da chuva confiável baseado na fórmula de FAO/AGLW, disponível no programa, que utiliza a Equação 8 para valores de precipitação (P , mm) menores ou iguais a 70mm no mês e a Equação 9 para valores de precipitação maiores que 70mm no mês.

$$P_{\text{eff}} = 0,6 \cdot P - 10 [\text{profundidade}], \text{ para } P \leq 70\text{mm} \quad (8)$$

$$P_{\text{eff}} = 0,8 \cdot P - 24 [\text{profundidade}], \text{ para } P > 70\text{mm} \quad (9)$$

Para os dados do solo no programa, utilizou-se como referência dados experimentais de ensaios de sedimentação e peneiramento de solos, disponíveis no Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal do Pará (PIMENTEL et al., 2018), a partir da caracterização realizada na análise

granulométrica de 16 amostras de solo às margens do igarapé Sapucajuba, contribuinte do supracitado rio Guamá, que apresenta características predominantes de silte e areia fina, com solos argilosos se acentuando em função da profundidade, com o coeficiente de permeabilidade variando entre 2,38E-04 a 1,46E-04 cm/s. Assim, utilizando-se o valor médio desse intervalo e adotando-se a unidade de medida do programa, obtêm-se um coeficiente de permeabilidade de 166 mm/dia. Contudo, é importante esclarecer que dados mais específicos referentes aos solos somente são necessários quando se faz a “opção de irrigação” no modelo do programa *Cropwat*®, que não será utilizada nesse estudo, portanto, os demais valores foram adotados os padrões de “solo médio”, como a metodologia da WFN recomenda para esses casos gerais.

Para os dados sobre a plantação do açaí necessários ao modelo do programa, utilizou-se como referência a base de dados contida no *Cropwat*® para espécies de palmeiras. O estudo de Almeida e Maia (2021), estimou o coeficiente de cultura (K_c , adimensional) do açaí utilizando o algoritmo de SAFER (*Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving*), baseado na equação de Penman-Monteith, onde foram determinados os valores de K_c para o açaizeiro entre 0,95 e 1,00, muito semelhantes aos informados pelo boletim FAO-56 (ALLEN et al., 1998) para palmeiras, que é a principal referência do modelo do programa. Assim, será considerado o valor de K_c igual a 0,95 para este estudo. A partir da entrada desse coeficiente, o modelo do programa é capaz de determinar a evapotranspiração da cultura (ET_c , mm/dia), através da Equação 10 a seguir.

$$ET_c = ET_0 \cdot K_c \left[\text{profundidade} / \text{tempo} \right] \quad (10)$$

Observa-se que, em função da relação diretamente proporcional, quanto maior o valor do coeficiente de crescimento - K_c , maior tende a ser os valores de evapotranspiração da cultura - ET_c , portanto a palmeira do açaí tende a apresentar uma alta taxa de evapotranspiração. A partir dos valores conhecidos da evapotranspiração da cultura do açaí (ET_c , mm/dia), é possível se determinar os valores relativos as ET_{verde} e ET_{azul} (mm/ano) de acordo com as Equações 11 e 12 a seguir.

$$ET_{verde} = \min(ET_c, P_{eff}) \left[\frac{profundidade}{tempo} \right] \quad (11)$$

$$ET_{azul} = \max(0, ET_c - P_{eff}) \left[\frac{profundidade}{tempo} \right] \quad (12)$$

Assim, a evapotranspiração da água verde (ET_{verde} , mm/ano) é determinada pelo valor mínimo entre a evapotranspiração total do açaí (ET_c , mm/ano) e a precipitação efetiva do local de estudo (P_{eff} , mm/ano), enquanto a evapotranspiração da água azul (ET_{azul} , mm/ano) é determinada como máximo da diferença entre a evapotranspiração total da cultura (ET_c , mm/ano) e a precipitação efetiva (P_{eff} , mm/ano) porém, quando a precipitação efetiva for maior que a evapotranspiração de cultura, a ET_{azul} será considerada zero.

4.3.3 Consumo de água anual na produção do açaí

Para estimar o consumo de água anual da produção do açaí, ou seja, sua pegada hídrica anual ($PH_{total,ano}$, m³/ano) será calculado o produto do valor obtido na pegada hídrica total do açaí (PH_{total} , m³/ton) e o valor médio das quantidades produzidas anualmente do fruto ($Prod$, ton/ano), assim como, devido a relevância da componente para este estudo, o mesmo cálculo será realizado isoladamente para a pegada hídrica cinza (PH_{cinza} , m³/ton), substituindo-se somente essa variável na fórmula seguinte ($PH_{cinza,ano}$, m³/ano). As fórmulas estão descritas nas Equações 13 e 14 abaixo.

$$PH_{total,ano} = PH_{total} \cdot Prod \left[\frac{volume}{tempo} \right] \quad (13)$$

$$PH_{cinza,ano} = PH_{cinza} \cdot Prod \left[\frac{volume}{tempo} \right] \quad (14)$$

O valor da pegada hídrica total será o obtido na Equação 1, o da pegada hídrica cinza será o da Equação 6 e os valores das quantidades produzidas anualmente do açaí ($Prod$, ton/ano) seguirão a mesma referência das outras componentes da pegada hídrica, considerando os dados consolidados entre 2017 e 2022 do IBGE e da SEDAP/PA.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme descrito no capítulo 4, utilizou-se a metodologia de avaliação da pegada hídrica da WFN proposta por Hoekstra et al. (2011) ajustada para a cultura das palmeiras de açaí ou açaizeiros, como são chamados na região da área de estudo, para se determinar as componentes da pegada hídrica verde, azul e cinza dessas plantações. A primeira etapa proposta pela metodologia é a definição dos objetivos e escopo do estudo, que já foram apresentados no capítulo 2 deste trabalho e serão desenvolvidos a partir de agora.

Assim, vale a pena citar que o objetivo deste estudo é realizar a coleta, organização, processamento e análise dos dados relativos à pegada hídrica nas plantações de açaí de várzea em sistemas de produção extrativistas ou cultivados e manejados, com base em informações consolidadas entre os anos de 2017 e 2022, na área do município de Belém, Estado do Pará. Dessa forma, faz parte do escopo deste estudo todo o processo de plantação do açaí na área de estudo, considerando o ciclo de vida das plantações tanto em sistemas extrativistas (manejados ou não) em matas nativas de várzea quanto em fazendas de cultivo de açaí como cultura permanente em áreas de várzea.

Este capítulo traz ainda o agrupamento de todas as informações coletadas e utilizadas como entradas para os programas de modelagem, as variáveis e equações integradas e os resultados obtidos, com a finalidade de identificar e quantificar a pegada hídrica das plantações de açaí em Belém-PA. Outro ponto a ser entendido e explorado neste capítulo diz respeito as comparações dessa pegada hídrica determinada para o açaí com outras culturas identificadas na revisão de literatura dentro da mesma metodologia proposta pela WFN.

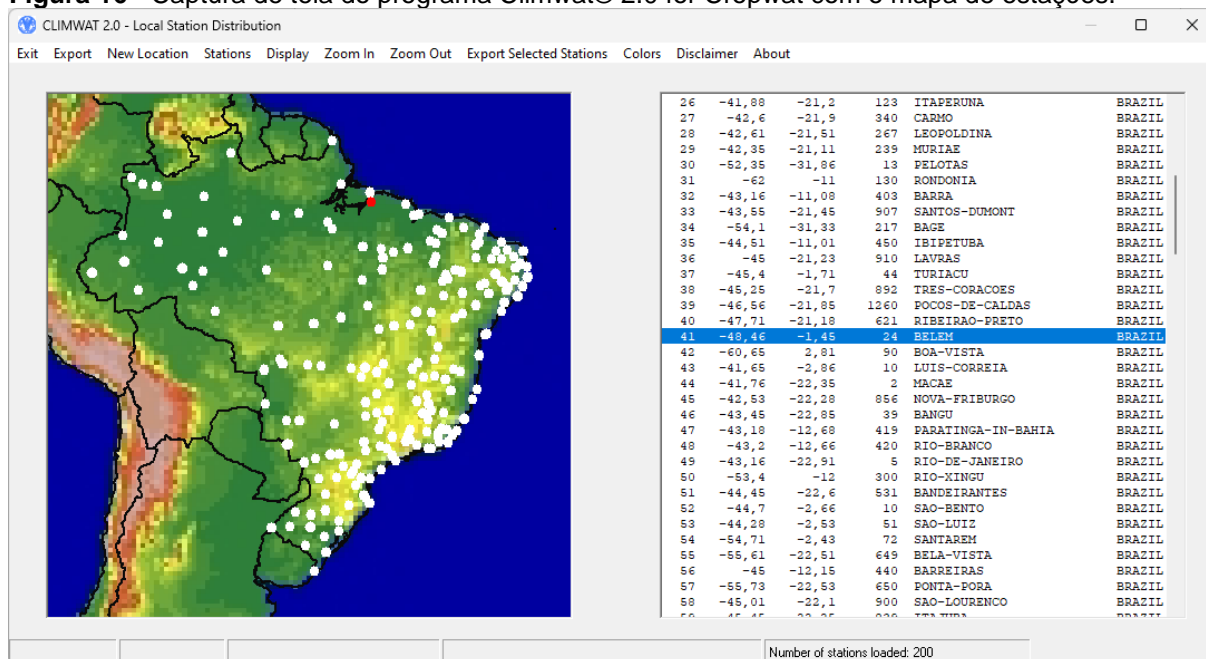
A metodologia da WFN propõe ainda duas fases complementares e facultativas, posteriores a contabilização da pegada hídrica, caracterizadas como a avaliação de sustentabilidade da pegada hídrica e a formulação de resposta à pegada hídrica, que não serão desenvolvidas neste estudo, mas serão abordadas e discutidas a partir de uma análise posterior à essa contabilização, onde serão feitos apontamentos relacionados com as questões da escassez hídrica e poluição da água na região, buscando ainda identificar oportunidades de melhoria e práticas sustentáveis para o açaí no local de estudo.

5.1 DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO VERDE E AZUL DO AÇAÍ ATRAVÉS DO CROPWAT 8.0

Como visto no capítulo 4, para se determinar a demanda hídrica da cultura do açaí é necessário primeiramente se conhecer a evapotranspiração da cultura, que pode ser obtido, dentre diversas alternativas, com um auxílio de um *software*. Dessa forma, para a determinação da evapotranspiração verde e azul (ET_{verde} e ET_{azul} , mm/ano) da cultura do açaí utilizou-se o programa Cropwat® 8.0 desenvolvido pela FAO (2010).

A primeira entrada de dados requerida neste caso são os dados bioclimáticos e de precipitação obtidos junto ao programa *Climwat® 2.0 for Cropwat*, também disponibilizado pela FAO (2006). A captura de tela abaixo (Figura 16) mostra a distribuição das estações com dados bioclimáticos e de precipitações disponíveis no Brasil, com destaque para a estação selecionada, localizada em Belém-PA.

Figura 16 - Captura de tela do programa Climwat® 2.0 for Cropwat com o mapa de estações.



Fonte: Autor (2024).

A partir dos dados gerados pelo *Climwat® 2.0 for Cropwat* foi possível prosseguir com o carregamento de dados bioclimáticos no programa Cropwat® 8.0 para gerar as informações de evapotranspiração de referência (ET_0 , mm/dia) específicos da área de estudo, conforme descritos a seguir (Tabela 2).

Tabela 2 - Dados bioclimáticos (normais climatológicas) e evapotranspiração de referência da área de estudo.

Variáveis / Mês	Tmín (°C)	Tmáx (°C)	Umidade (%)	Vento (m/s)	Insolação (horas/dia)	Irradiação (MJ/m².dia)	ET ₀ (mm/dia)
Janeiro	22,1	30,9	82,0	0,9	6,3	18,8	3,9
Fevereiro	22,2	30,5	93,0	0,8	4,9	17,1	3,5
Março	22,4	30,4	88,0	0,9	4,9	17,1	3,6
Abril	21,8	30,8	83,0	0,9	5,8	18,0	3,7
Maio	22,6	31,3	87,0	1,0	7,7	19,7	4,0
Junho	22,1	31,7	84,0	1,1	9,5	21,3	4,3
Julho	21,7	31,7	83,0	1,2	10,2	22,6	4,5
Agosto	21,7	32,1	83,0	1,3	10,2	23,9	4,8
Setembro	21,7	32,1	82,0	1,2	10,0	24,7	5,0
Outubro	21,6	32,2	82,0	1,3	10,0	25,0	5,1
Novembro	21,9	32,3	82,0	1,4	9,6	23,8	4,9
Dezembro	22,0	31,9	84,0	1,1	9,3	23,0	4,7
Média	22,0	31,5	84,0	1,1	8,2	21,3	4,3

Fonte: Cropwat® 8.0 (2024), adaptado pelo autor.

Considerando as informações bioclimáticas dispostas na Tabela 2 relativas as médias anuais para Belém-PA, obteve-se um valor de evapotranspiração de referência - ET₀ igual a 4,3 mm/dia, o que possibilita o prosseguimento para a etapa de carregamento das informações da precipitação, obtidos também através dos dados gerados pelo *Climwat® 2.0 for Cropwat*. A partir das informações de precipitação acumulada o modelo do Cropwat® 8.0 gera as informações da precipitação acumulada efetiva, exibidas abaixo (Tabela 3).

Tabela 3 - Precipitação (normais climatológicas) e Precipitação efetiva da área de estudo.

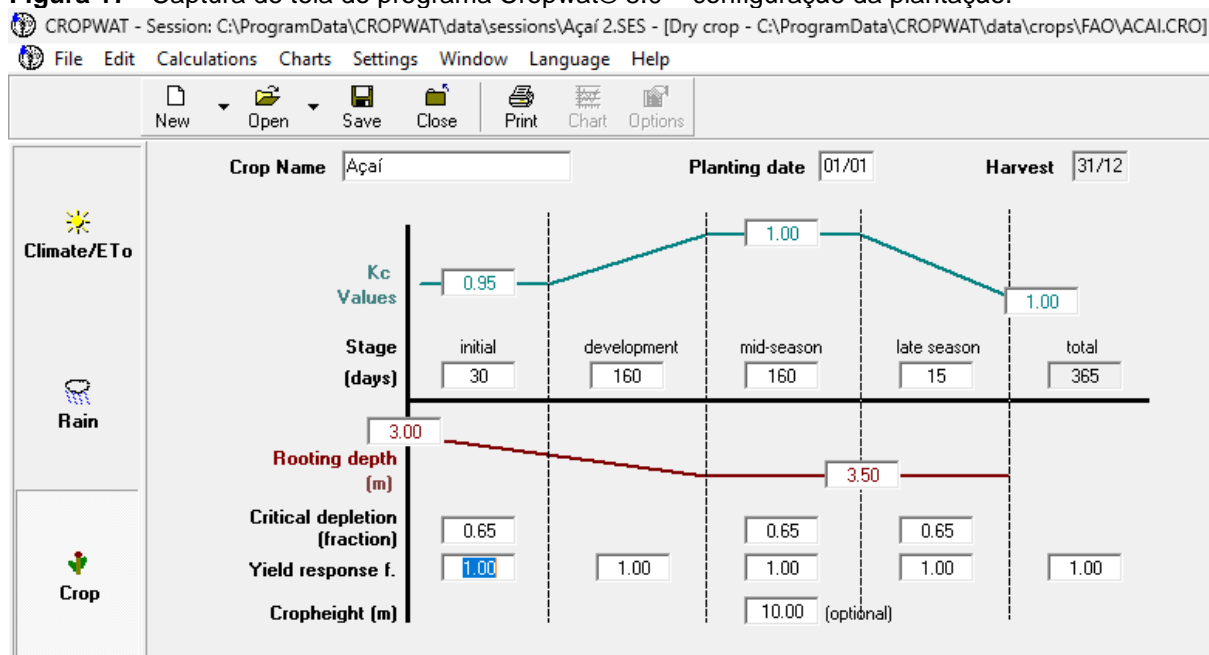
Variáveis / Mês	Precipitação acumulada (mm)	Precipitação acumulada efetiva (mm)
Janeiro	366,5	269,2
Fevereiro	417,5	310,0
Março	436,2	325,0
Abril	360,0	264,0
Maio	304,4	219,5
Junho	140,2	88,2
Julho	152,1	97,7
Agosto	131,1	80,9
Setembro	140,8	88,6
Outubro	116,1	68,9
Novembro	111,8	65,4
Dezembro	216,4	149,1
Total	2.893,1	2.026,5

Fonte: Cropwat® 8.0 (2024), adaptado pelo autor.

A geração dos valores de precipitação acumulada efetiva é estimada através da aplicação do método da chuva confiável da fórmula de FAO/AGLW configurado no programa. De acordo com a Tabela 3 encontrou-se o valor para a variável de precipitação efetiva - P_{eff} de 2.026,5 mm/ano, pois considera-se que apenas uma parte do volume total precipitado estará disponível para as plantações devido a fatores como o escoamento superficial e a percolação.

A partir desse ponto, o programa Cropwat® 8.0 requer a entrada de dados específicos sobre o tipo de cultura e o período de plantação, para ser utilizado no modelo. Como explicado anteriormente, para culturas permanentes ou sistemas agroflorestais, a metodologia recomenda utilizar o período de um ano para a análise da pegada hídrica, que foi adotada no programa de acordo com a captura de tela registrada abaixo (Figura 17).

Figura 17 - Captura de tela do programa Cropwat® 8.0 – configuração da plantação.



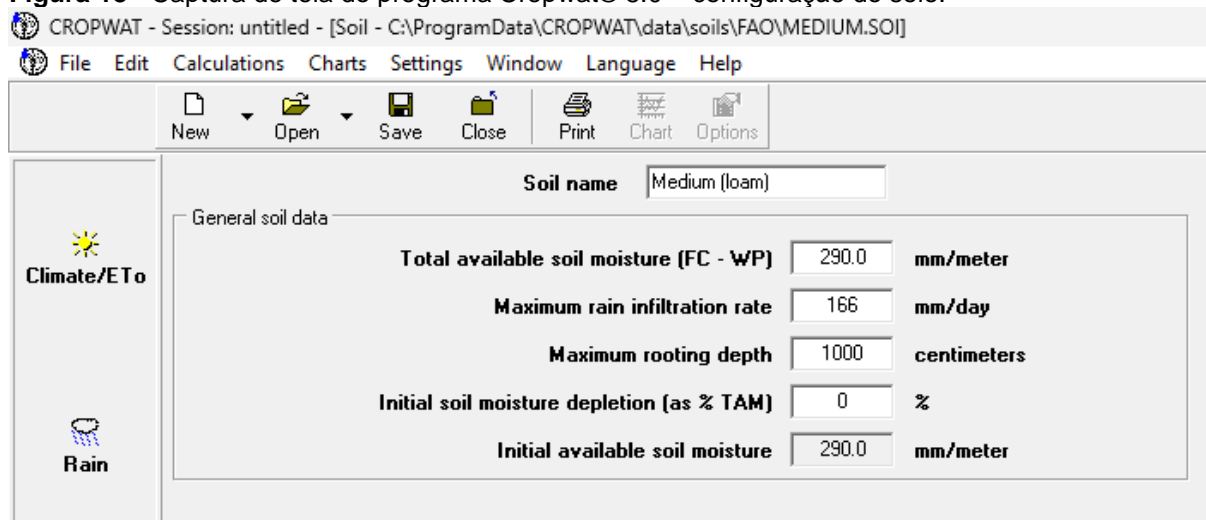
Fonte: Autor (2024).

Os valores de referência utilizados no carregamento de informações sobre o açaí foram obtidos através do banco de dados do programa disponíveis para culturas de palmeiras (ALLEN et al., 1998) e na literatura segundo Almeida e Maia (2021). O coeficiente de cultura do açaí (K_c , adimensional) foi mantido constante durante todo o período do modelo, contudo, o próprio modelo ajusta automaticamente os valores do K_c de acordo com o estágio da plantação (inicial, desenvolvimento, fase produtiva e fim de temporada). Assim, foram configurados períodos maiores, ou seja, com mais

dias para os estágios de desenvolvimento e fase produtiva, considerando que são estágios mais comuns no meio natural. Conforme citado anteriormente, o período configurado foi referente ao ciclo de um ano, entre 01 de janeiro e 31 de dezembro.

As informações do solo foram configuradas com as informações de solo “padrão médio” recomendadas pela metodologia da WFN, modificadas apenas no valor do coeficiente de permeabilidade, de acordo com dados experimentais da região de estudo. As informações estão representadas na captura de tela a seguir (Figura 18).

Figura 18 - Captura de tela do programa Cropwat® 8.0 – configuração do solo.



Fonte: Autor (2024).

Foram simuladas configurações alternativas para os valores dos parâmetros do solo, que não demonstraram alterações nos resultados obtidos na próxima etapa, pois, como explicado no capítulo 4, o modelo utiliza essas informações mais especificamente para outra funcionalidade do programa relacionada com um calendário de irrigações, que não está incluído no escopo deste estudo e não será explorado nessa avaliação da pegada hídrica, assim, as informações dessa etapa possuem um papel mais voltado ao registro informativo dentro do modelo.

A próxima etapa é a qual o modelo do programa calcula os valores de evapotranspiração da cultura do açaí (ET_c , mm/dia) e, a partir da relação de diferença com a precipitação efetiva, determina os valores de demanda hídrica da plantação, que neste caso será denominada de necessidade de irrigação (IR, mm/10 dias), conforme exibido abaixo (Tabela 4).

Tabela 4 – Evapotranspiração, precipitação efetiva e necessidade de irrigação do açaí.

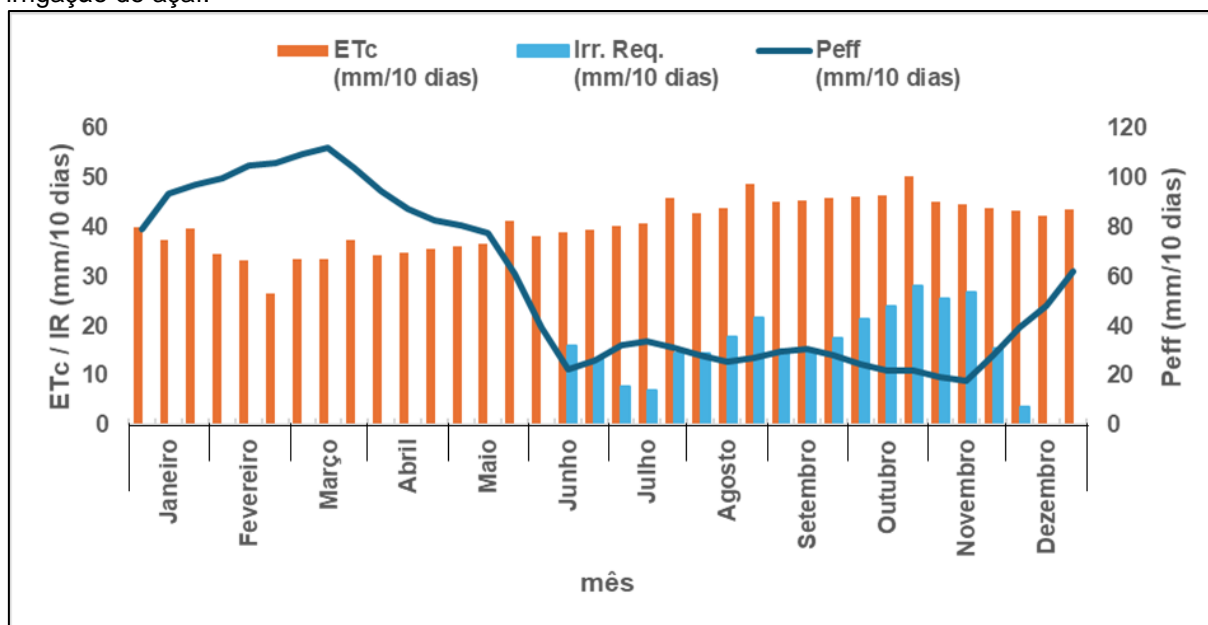
Variáveis / Mês	Kc	ETc (mm/dia)	ETc (mm/10 dias)	Peff (mm/10 dias)	IR (mm/10 dias)
Janeiro	0,95	4,0	39,8	78,9	0,0
Janeiro	0,95	3,7	37,4	93,5	0,0
Janeiro	0,95	3,6	39,7	96,8	0,0
Fevereiro	0,95	3,5	34,6	99,6	0,0
Fevereiro	0,95	3,3	33,1	104,5	0,0
Fevereiro	0,94	3,3	26,6	105,8	0,0
Março	0,94	3,3	33,4	109,1	0,0
Março	0,94	3,4	33,5	111,9	0,0
Março	0,93	3,4	37,3	103,9	0,0
Abril	0,93	3,4	34,3	94,3	0,0
Abril	0,93	3,5	34,8	87,3	0,0
Abril	0,93	3,5	35,4	82,6	0,0
Maio	0,92	3,6	36,0	80,8	0,0
Maio	0,92	3,7	36,6	77,3	0,0
Maio	0,92	3,7	41,1	61,3	0,0
Junho	0,91	3,8	38,1	39,5	0,0
Junho	0,91	3,9	38,9	22,7	16,1
Junho	0,91	4,0	39,5	26,0	13,5
Julho	0,90	4,0	40,1	32,3	7,7
Julho	0,90	4,1	40,7	33,8	7,0
Julho	0,90	4,2	45,9	31,5	14,4
Agosto	0,90	4,3	42,7	28,1	14,6
Agosto	0,90	4,4	43,7	25,8	17,9
Agosto	0,90	4,4	48,7	27,1	21,6
Setembro	0,90	4,5	44,9	29,5	15,3
Setembro	0,90	4,5	45,4	30,8	14,7
Setembro	0,90	4,6	45,7	28,2	17,5
Outubro	0,90	4,6	46,0	24,7	21,3
Outubro	0,90	4,6	46,2	22,2	24,0
Outubro	0,90	4,6	50,2	22,1	28,2
Novembro	0,90	4,5	45,1	19,5	25,6
Novembro	0,90	4,5	44,5	17,7	26,8
Novembro	0,90	4,4	43,8	28,4	15,4
Dezembro	0,90	4,3	43,1	39,3	3,8
Dezembro	0,90	4,2	42,3	48,0	0,0
Dezembro	0,89	4,0	43,5	61,9	0,0
Totais			1.452,5	2.026,5	305,5

Fonte: Cropwat® 8.0 (2024), adaptado pelo autor.

Como pode-se notar, o programa divide as informações da Tabela 4 em períodos de 10 dias através das variáveis do coeficiente da cultura – Kc, evapotranspiração da cultura – ET_c, precipitação efetiva - P_{eff} e necessidade de irrigação – IR, projetados para a cultura. Os valores acumulados para períodos de 10 dias é uma característica do modelo em função de sua vocação de desenvolvimento

ser voltada para a produtividade agrícola. Os valores também estão representados graficamente a seguir (Figura 19).

Figura 19 – Gráfico de relação entre evapotranspiração, precipitação efetiva e necessidade de irrigação do açaí.



Fonte: Autor (2024).

Como citado anteriormente, a coluna da Tabela 4, que descreve a necessidade de irrigação, está relacionada com o valor obtido entre a diferença do volume de precipitação efetiva no local com a evapotranspiração da cultura, o que gera a proposição de valores nos meses com menores índices pluviométricos, como ocorre entre o segundo decêndio de junho e o primeiro de dezembro. Observa-se no gráfico da Figura 19 que o regime de chuvas declina a partir de março, mantendo-se abaixo da média de 56,3 mm/10 dias desde junho até o último decêndio de dezembro. A evapotranspiração da cultura também é maior no segundo semestre, atingindo seu valor máximo de 50,2 mm/10 dias em outubro, que é um valor 88,7% maior que o mínimo registrado em fevereiro para a mesma variável.

O modelo considera condições ideais de crescimento da cultura na ausência de estresse hídrico. Contudo, na análise dos totais acumulados durante o período modelado de um ano, nota-se que os valores de precipitação efetiva no local são bem superiores aos de evapotranspiração, o que demonstra um saldo hídrico positivo no solo, o que justifica, por exemplo, porque as culturas prosperam no meio natural mesmo na ausência de sistemas de irrigação.

Nogueira et al. (2006) comentam que nos ecossistemas de várzea inundável do estuário amazônico, as plantas de açaí não evidenciam sintomas de déficit hídrico, pois nesse ambiente, mesmo durante a estiagem, a planta apresenta status de água adequado, em consequência de ter suprimento hídrico garantido através da absorção de água pela porção mais profunda do sistema radicular. Sendo uma planta típica do habitat úmido, o açaizeiro de várzea comporta-se como planta tolerante a curtos períodos de seca, onde mesmo submetidas a estresse por falta de água durante dois meses, mantêm-se vivas e retornam suas atividades fisiológicas 14 dias após a reidratação.

Prosseguindo, a partir dos valores de evapotranspiração da cultura (ET_c , mm/ano), foram calculadas de acordo com as Equações 11 e 12 os valores da evapotranspiração da água verde, onde obteve-se – ET_{verde} de 1.452,5 mm/ano e da evapotranspiração da água azul, onde obteve-se – ET_{azul} de 0,0 mm/ano, considerando que, conforme citado, o saldo hídrico entre a precipitação efetiva e a evapotranspiração da cultura foi positivo.

Cabe mencionar que as plantações de açaí de várzea seguem uma produção baseada na água verde e mesmo em áreas manejadas seguem sistemas de agricultura de sequeiro, ou seja, plantações não irrigadas, como comentam Oliveira, Farias Neto e Queiroz (2015) de que o açaizeiro encontra condições ideais de cultivo nas faixas climáticas com regular distribuição de chuvas e em áreas que, mesmo com período de estiagem definido, disponham de umidade satisfatória no solo, como nas várzeas. De posse dessas informações, a seguir será realizado os cálculos das componentes verde, azul e cinza da pegada hídrica do açaí.

5.2 DETERMINAÇÃO DA PEGADA HÍDRICA VERDE, AZUL E CINZA DO AÇAÍ

A determinação dos valores de evapotranspiração verde e azul multiplicados pelo fator de ajuste, conforme as Equações 4 e 5, forneceram os valores de demanda hídrica verde da cultura do açaí - DHC_{verde} igual a 14.525,0 m³/ha e demanda hídrica azul da cultura do açaí – DHC_{azul} igual a 0,0 m³/ha. A próxima etapa envolve a inclusão dos dados relativos à produtividade do açaí – P_{rtv} (ton/ha), que são determinantes para o cálculo das componentes da pegada hídrica verde, azul e cinza. Assim, seguem abaixo os valores tabelados da produtividade do açaí entre os anos de 2017 e 2022

(Tabela 5), para diferentes tipos de fontes e categorias que o açaí é classificado nas pesquisas.

Tabela 5 - Produtividade do açaí no período de 2017 a 2022.

Ano base	Fonte	Categoria	Área colhida (ha)	Quantidade Produzida (ton)	Produtividade (ton/ha)
2017	SEDAP/PA	Lavoura permanente	1.141,0	2.400,0	2,1
2017	IBGE - Censo Agro	Lavoura permanente	2.953,0	2.186,0	0,7
2017	IBGE - PEVS	Extrativismo	-	380,0	-
2018	SEDAP/PA	Lavoura permanente	150,0	550,0	3,7
2018	IBGE - PEVS	Extrativismo	-	370,0	-
2019	SEDAP/PA	Lavoura permanente	180,0	658,0	3,7
2019	IBGE - PEVS	Extrativismo	-	361,0	-
2020	IBGE - PAM	Lavoura permanente	170,0	623,0	3,7
2020	IBGE - PEVS	Extrativismo	-	390,0	-
2021	IBGE - PAM	Lavoura permanente	190,0	720,0	3,8
2021	IBGE - PEVS	Extrativismo	-	450,0	-
2022	IBGE - PAM	Lavoura permanente	190,0	623,0	3,3
2022	IBGE - PEVS	Extrativismo	-	520,0	-
Média			710,57	787,00	2,986

Fonte: Autor (2024).

Como pode-se observar na Tabela 5, os dados relacionados com a categoria da cultura extrativista do açaí não trazem informações sobre a área plantada do fruto, considerando a especificidade da atividade, portanto, não permitem indicar um índice de produtividade direta, mas foram relacionadas na tabela a título de comparação. Em relação a produção extrativista, por exemplo, nota-se uma tendência de crescimento entre 2019 e 2022, de 361 ton/ano para 520 ton/ano, com uma variação positiva de 44% na quantidade produzida no período, enquanto as lavouras permanentes cresceram somente 27% entre 2018 e 2022. Os valores relativos à lavoura permanente no ano de 2017 levam em consideração, por questões metodológicas, uma área geográfica maior que os demais anos, a qual abrange outros municípios da região metropolitana de Belém-PA, por isso são destacadamente maiores em relação à área e quantidade produzida.

Observa-se ainda na Tabela 5 uma produtividade registrada no intervalo entre 0,7 e 3,8 ton/ha, que vêm se mantendo em níveis semelhantes a partir de 2018. Assim, para representar a variável de produtividade do açaí – Prtv no cálculo da sua pegada hídrica, será considerada a média do período entre os anos de 2017 e 2022 que apresentaram registro de dados, assim obteve-se o Prtv igual a 2,986 ton/ha.

De posse dos valores de demanda hídrica verde e azul (DHC_{verde} e DHC_{azul} , m^3/ha) e dos valores da produtividade do açaí (P_{rtv} , ton/ha) é possível a aplicação das Equações 2 e 3. A pegada hídrica verde - PH_{verde} obtida foi igual a $4.865,1 m^3/ton$ e a pegada hídrica azul – PH_{azul} foi igual $0,0 m^3/ton$. Isso significa que para cada tonelada de açaí produzida, está incorporada $4.865,1 m^3$ de água verde, ou seja, água doce proveniente de precipitações, enquanto a estimativa não prevê o uso da água azul no processo, que faz referência a água doce proveniente de captação superficial ou subterrânea na área da bacia, como citado anteriormente, justificado pela característica da agricultura de sequeiro aplicada na cultura do açaí de várzea.

Para a determinação da pegada hídrica cinza será necessário reapresentar alguns fatores que foram considerados no cálculo da Equação 6, cuja obtenção das informações já foi explanada no capítulo 4, não obstante, exibe-se o agrupamento dos termos novamente abaixo, objetivando-se uma visualização sumarizada (Quadro 2).

Quadro 2 - Variáveis utilizadas no cálculo da pegada hídrica cinza.

Variável	Valor	Referência
Fator alfa - α (%)	10,0	Chapagain et al. (2006)
TAQ ($kg/ha N$)	53,6	Nogueira, Figueiredo e Müller (2005)
$C_{máx}$ ($kg/m^3 N$)	0,02	CONAMA (2011)
C_{nat} ($kg/m^3 N$)	0,002	ANA (2024)

Fonte: Autor (2024).

Com base nas informações apresentadas no Quadro 2 e a produtividade estabelecida a partir da Tabela 5 – P_{rtv} igual a $2,986 ton/ha$, foi realizado o cálculo da pegada hídrica cinza (PH_{cinza} , m^3/ton), utilizando-se a Equação 6, onde obteve-se um valor de PH_{cinza} igual a $99,7 m^3/ton$. Hoekstra et al. (2011) mencionam que a pegada hídrica cinza refere-se ao volume de água necessário para assimilar efluentes, ou seja, o volume de água necessário para diluir os poluentes de modo que a qualidade da água em seu estado natural seja mantida acima dos padrões mínimos de qualidade da água aceitáveis. Em síntese, pode-se dizer ainda que esse valor representa a quantidade de água doce necessária na bacia para diluir os poluentes da produção de uma tonelada de açaí. Portanto, aplicando-se a Equação 1 obtemos a pegada hídrica total do açaí – PH_{total} igual a $4.964,8 m^3/ton$, representada graficamente abaixo (Figura 20).

Figura 20 - Representação gráfica da pegada hídrica total do açaí.



Fonte: Autor (2024).

Nota-se que a pegada hídrica total do açaí é formada majoritariamente pela componente da pegada hídrica verde que está relacionada com a água consumida pela plantação oriunda das chuvas nos locais, como já comentado. O valor da pegada hídrica cinza apesar de ser relativamente bem inferior ao da pegada hídrica verde, ainda assim deve ser analisada com cautela, considerado que seu volume pode se tornar significativo em função do aumento da produção e considerando ainda que é o volume de água com maior potencial de impacto ambiental no processo.

Em relação a pegada hídrica azul, observou-se que os valores zerados podem indicar uma característica específica desse tipo de agricultura não irrigada como a aplicada às espécies de açaí de várzea na região de Belém-PA, que possui um clima com regimes de chuvas propícios ao sistema produtivo. Contudo, a metodologia é modular e iterativa, isso significa que em espécies de açaí plantados em terra firme, que utilizam sistemas irrigados, essa contabilidade da água relacionada à pegada hídrica azul pode ser realizada com dados que levem em consideração essa irrigação, o que levaria ao estabelecimento de novos valores de pegada hídrica total e em diferentes proporções de suas componentes verde, azul e cinza, sem prejuízo aos valores já apresentados neste estudo.

5.3 COMPARAÇÃO DA PEGADA HÍDRICA DO AÇAÍ COM OUTRAS CULTURAS

A avaliação da pegada hídrica das diversas culturas plantadas no Brasil ainda é pouco explorada na literatura acadêmica, como visto no capítulo 3, sendo que quando tratamos especificamente do açaí, ainda há uma carência de informações relevantes e consolidadas a respeito do tema, o que demonstra a necessidade de realizar-se comparações entre os resultados obtidos no item 5.2 com outras espécies de plantações. Dessa forma, serão realizadas comparações tanto com espécies de plantações no Brasil, como outros tipos de plantações em diversos locais do mundo onde foram realizados estudos sob a mesma metodologia da WFN.

Como primeira análise, pode-se partir da própria ferramenta disponível na plataforma *online* da WFN (WFN, 2024), denominada *Water Footprint Assessment Tool* (Ferramenta de Avaliação da Pegada Hídrica), onde é possível comparar a avaliação da pegada hídrica no contexto global, nacional ou de uma bacia hidrográfica. A ferramenta da plataforma é baseada em informações de um banco de dados com uma vasta coleção de publicações relacionadas à pegada hídrica, organizado e disponibilizado pela própria WFN.

Ao optar-se pela exibição dos dados a nível das bacias hidrográficas junto a ferramenta, nota-se que a unidade hidrográfica Tocantins-Araguaia não está integralmente disponível no mapa do banco de dados, mas sim de forma parcial abrangendo as sub-bacias do rio Capim e do rio Tocantins, que foram consideradas relevantes por também comporem a UGRH do Tocantins-Araguaia, onde Belém-PA está inserida.

A ferramenta oferece ainda a opção de segmentação dos dados da pesquisa pelo setor doméstico, de indústria ou agrícola. No setor agrícola, área de interesse deste trabalho, é possível selecionar as seguintes categorias para pesquisa: cereais; vegetais e melões; frutas e nozes; oleaginosas; raízes e tubérculos; bebidas e especiarias; leguminosas; cana-de-açúcar; forrageiras; e não alimentícias.

Assim, a partir da seleção das bacias do rio Capim e do rio Tocantins, da segmentação no setor agrícola e da escolha de exibição dos dados da categoria de frutas e nozes, coletou-se as informações sobre as pegadas hídricas verde, azul e cinza das seguintes culturas abaixo (Tabela 6).

Tabela 6 - Pegada Hídrica verde, azul e cinza do setor agrícola na categoria de frutas e nozes.

Culturas (categoria de frutas e nozes)	Brasil – bacias do rio Capim e do rio Tocantins		Padrão Global - WFN	
	PH verde e azul (m³/ton)	PH cinza (m³/ton)	PH verde e azul de referência (m³/ton)	PH cinza de referência (m³/ton)
Abacate	880,0	35,0	820,0	1,0
Abacaxi	150,0	11,0	122,0	0,0
Banana	970,0	37,0	373,0	0,0
Castanha de caju	33.000,0	970,0	4.579,0	4,0
Figo	1.200,0	47,0	1.464,0	154,0
Fruta de dendê	-*	68,0	-*	33,0
Laranja	380,0	16,0	333,0	15,0
Limões e limas	510,0	23,0	324,0	19,0
Mamão	230,0	9,4	-*	-*
Manga	900,0	37,0	1.116,0	62,0
Morango	880,0	47,0	115,0	9,0
Outras frutas tropicais	-*	38,0	-*	49,0
Outras nozes	15.000,0	-*	3.000,0	-*
Tangerina	490,0	21,0	421,0	25,0
Toranja	430,0	20,0	191,0	16,0
Uva	330,0	23,0	331,0	20,0

Fonte: Water Footprint Assessment Tool (2024), adaptado pelo autor. *Valores não informados na plataforma.

A ferramenta exibe as informações sobre as pegadas hídricas verde e azul de forma agrupada em um único valor, também fornece valores de referência para cada tipo de cultura, baseada em valores globais e considerando boas práticas de manejo e o uso de tecnologias disponíveis (WFN, 2024). Com base na Tabela 6 acima, pode-se notar que a cultura com maior pegada hídrica verde e azul da lista é castanha de caju com 33.000 m³/ton, seguida por “outras nozes” em segundo lugar com 15.000 m³/ton, que trata de outros tipos de nozes que não possuem um código específico na ferramenta. Ambas as culturas são as únicas com valores registrados de pegada hídrica total maiores que a estimada para o açaí neste estudo. Quando se analisa os valores referentes a pegada hídrica cinza, o açaí com 99,7 m³/ton equipara-se abaixo somente da castanha de caju, que registrou 970 m³/ton dessa componente na ferramenta da plataforma.

Outra pesquisa que buscou agrupar diversos valores de pegada hídrica de diferentes culturas foi apresentada por Mekonnen e Hoekstra (2011), na qual foi realizado um levantamento de 126 tipos de plantações ao redor do mundo, utilizando um modelo de balanço hídrico dinâmico de grade, abrangendo o período de 1996 a 2005, como já comentado no capítulo 3. Das 126 culturas presentes no estudo, foram selecionados para exibição abaixo (Tabela 7) alguns itens já descritos na Tabela 6

com a adição de outros, com o mesmo intuito de serem comparados em relação aos seus valores de pegada hídrica verde, azul, cinza e total.

Tabela 7 - Pegada Hídrica verde, azul, cinza e total de culturas agrícolas por modelo de balanço hídrico dinâmico de grade.

Código FAOSTAT	Cultura	PH verde (m³/ton)	PH azul (m³/ton)	PH cinza (m³/ton)	PH total (m³/ton)
572	Abacate	849,0	283,0	849,0	1.981,0
574	Abacaxi	215,0	9,0	31,0	255,0
486	Banana	660,0	97,0	33,0	790,0
656	Café verde	15.249,0	116,0	532,0	15.897,0
217	Castanha de caju	12.853,0	921,0	444,0	14.218,0
249	Coco	2.669,0	2,0	16,0	2.687,0
490	Laranja	401,0	110,0	49,0	560,0
497	Limão e limas	432,0	152,0	58,0	642,0
600	Mamão	399,0	40,0	21,0	460,0
571	Manga	1.314,0	362,0	124,0	1.800,0
544	Morango	201,0	109,0	37,0	347,0
254	Dendê	1.057,0	0,0	40,0	1.097,0
661	Sementes de cacau	19.745,0	4,0	179,0	19.928,0
495	Tangerina	479,0	118,0	152,0	749,0
507	Toranja	367,0	85,0	54,0	506,0
560	Uva	425,0	97,0	87,0	609,0

Fonte: Mekonnen e Hoekstra (2011), adaptado pelo autor.

O modo de apresentação da Tabela 7 indicada no estudo de Mekonnen e Hoekstra (2011) facilita a comparação com as informações já exibidas sobre o açaí anteriormente, pois possibilita a comparação componente a componente da pegada hídrica avaliada. Em relação a pegada hídrica verde, o açaí apresenta valores pouco semelhantes a outras culturas, mas considerando as menores diferenças, pode-se citar os valores apresentados pelas plantações de coco 2.669,0 m³/ton e manga 1.314,0 m³/ton como os mais próximos.

Em relação a componente da pegada hídrica azul, o açaí apresentou valores semelhantes as culturas de dendê com 0,0 m³/ton, coco com 2 m³/ton e sementes de cacau com 4 m³/ton. No caso da componente da pegada hídrica cinza, tem-se a uva com 87 m³/ton e a manga com 124 m³/ton, com os valores mais aproximados ao do açaí.

Em relação a pegada hídrica total, tem-se na Tabela 7 que as sementes de cacau com 19.928,0 m³/ton, o café verde com 15.897,0 m³/ton e a castanha de caju com 14.218,0 m³/ton somam os maiores valores de pegada hídrica registrados na seção, sendo que o açaí seria a fruta subsequente em maior volume registrado se os

valores desta avaliação fossem levados em consideração nesse recorte da lista proposta por Mekonnen e Hoekstra (2011).

Outros estudos pesquisados também realizaram a avaliação da pegada hídrica de diversas culturas em regiões específicas do Brasil e do mundo, a partir da metodologia proposta pela WFN ou derivações desta. A nível global, há uma densidade maior de publicações de culturas do gênero alimentício como arroz, milho e trigo, todavia, buscou-se agrupar (Tabela 8) essas informações com as de algumas culturas de outras frutas citadas anteriormente, como a banana, o limão e as sementes de cacau, considerando ainda diferentes autores e em diversos países.

Tabela 8 - Pegada Hídrica verde, azul e cinza de culturas agrícolas diversas pelo mundo.

Cultura	Local	PH verde (m³/ton)	PH azul (m³/ton)	PH cinza (m³/ton)	PH total (m³/ton)	Referência
Arroz	China	136,0	527,0	318,0	981,0	Xiong et al. (2022)
Banana	Tailândia	443,5	398,5	0,0*	842,0	Rattanapan e Ounsaneha (2021)
Cevada	Iran	607,0	835,0	575,0	2.017,0	Ababaei e Etedali (2017)
Limão	Argentina	234,0	30,0	82,0	346,0	Ferrero et al. (2022)
Milho	China	219,0	219,0	176,0	614,0	Xiong et al. (2022)
Milho	Iran	53,0	786,0	481,0	1.320,0	Ababaei e Etedali (2017)
Sementes de cacau	Colômbia	13.189,0	5.687,0	0,0*	18.876,0	Merino, Rodriguez e Gallardo (2018)
Trigo	China	240,0	452,0	307,0	999,0	Xiong et al. (2022)
Trigo	Iran	726,0	794,0	540,0	2.060,0	Ababaei e Etedali (2017)
Trigo	Zimbábue	56,1	1.555,9	261,7	1.873,7	Govere, Nyamangara e Nyakatawac (2020)

Fonte: Autor (2024). *Pegada Hídrica cinza não avaliada no estudo.

Mesmo na sucinta amostra de estudos apresentados na Tabela 8 é possível observar que algumas culturas são amplamente estudadas dentro da metodologia, tornando possível realizar comparações diretas de resultados, mesmo em países diferentes, como é o caso das culturas do milho e do trigo por exemplo. Uma outra comparação comum dentro de cada um desses estudos é a utilização dos valores de referência globais como os desenvolvidos por Mekonnen e Hoekstra (2011), mencionados anteriormente. Contudo, como o estudo da pegada hídrica do açaí ainda se mostra pouco difundido, não é possível realizar esses tipos de comparações diretas dentro da mesma cultura.

Em relação aos valores apresentados na Tabela 8 pode-se destacar a grande disparidade entre o valor mínimo da cultura do limão na Argentina, com pegada hídrica total de 346 m³/ton, para o valor máximo pertencente a cultura das sementes de cacau

na Colômbia, com 18.876,0 m³/ton, mesmo o estudo tendo desconsiderado a contabilização da componente da pegada hídrica cinza. Os valores da pegada hídrica total da cevada e do trigo no Iran, com 2.017,0 m³/ton e 2.060,0 m³/ton, respectivamente, foram os que mais se aproximaram dos valores encontrados para a pegada hídrica no açaí em Belém-PA, contudo, a composição de suas componentes verde, azul e cinza obedecem a uma distribuição mais equitativa em seus percentuais do que o observado em relação ao açaí.

De forma similar ao disposto na Tabela 8, foi realizado o levantamento da pegada hídrica de algumas culturas em diferentes regiões do Brasil, a partir de estudos de diversos autores, que foram sintetizados abaixo (Tabela 9).

Tabela 9 - Pegada Hídrica verde, azul e cinza de culturas agrícolas diversas no Brasil.

Cultura	Local	PH verde (m³/ton)	PH azul (m³/ton)	PH cinza (m³/ton)	PH total (m³/ton)	Referência
Algodão	Brasil-BA	1.160,5	447,9	238,7	1.847,1	Costa et al. (2021)
Arroz	Brasil-SE	212,0	126,3	14,6	352,9	Brandão (2020)
Arroz	Brasil-SP	2.546,7	2.217,9	447,9	5.212,5	Reis et al. (2020)
Banana	Brasil-CE	254,0	781,0	72,0	1.107,0	Oliveira et al. (2022)
Cana-de-açúcar	Brasil-PB	119,6	107,4	9,0	236,0	da Silva et al. (2015)
Cana-de-açúcar	Brasil-PE	44,4	214,0	785,5	1.043,9	Ribeiro (2019)
Cana-de-açúcar	Brasil-SP	109,8	45,9	10,5	166,2	Reis et al. (2020)
Milho	Brasil-BA	495,3	96,8	62,2	654,3	Costa et al. (2021)
Milho	Brasil-SP	1.203,4	395,5	124,0	1.722,9	Reis et al. (2020)
Soja	Brasil-BA	1.547,8	282,8	162,5	1.993,1	Costa et al. (2021)
Soja	Brasil-SP	1.127,1	118,0	38,9	1.284,0	Reis et al. (2020)
Tomate	Brasil-PB	121,8	286,8	241,0	649,6	Almeida (2019)
Tomate	Brasil-SP	56,2	23,0	18,0	97,2	Reis et al. (2020)

Fonte: Autor (2024).

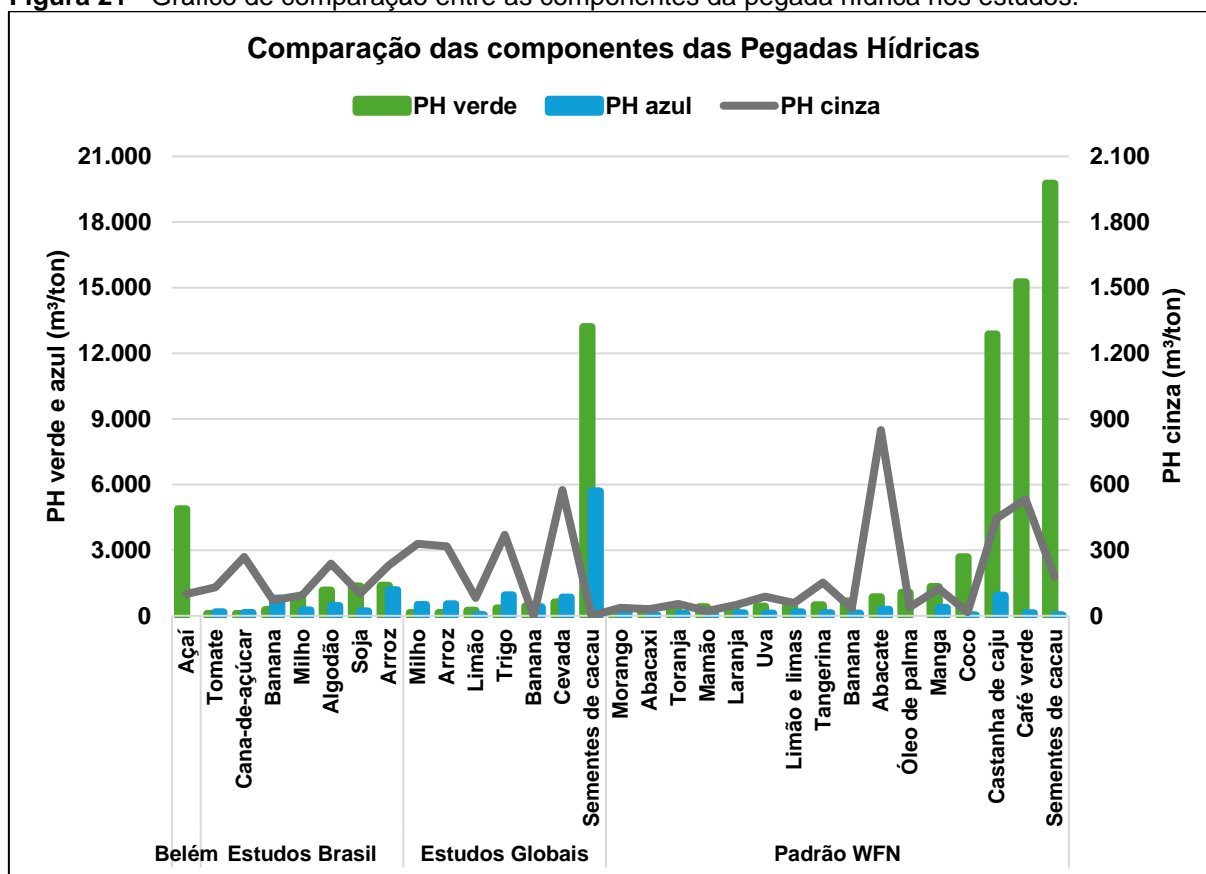
De modo análogo ao observado nos estudos de algumas plantações em outras regiões do planeta, algumas culturas são amplamente estudadas no Brasil e apresentam um número maior de pesquisas que permitem uma comparação direta entre si, a exemplo do arroz, da cana-de-açúcar, do milho, da soja e do tomate, apresentados na Tabela 9 acima.

Observa-se que em alguns casos há uma disparidade grande nos valores da mesma cultura, como é o caso do Arroz, que apresenta uma variação de 1.377% da pegada hídrica total entre o estudo de Brandão (2020) em Sergipe ao de Reis et al. (2020) em São Paulo, sendo que o mesmo ocorre com a cana-de-açúcar, que apresenta uma variação de até 528% na mesma variável entre os autores Ribeiro (2019) na Paraíba ao de Reis et al. (2020) em São Paulo, por exemplo.

Ainda em relação ao valores da pegada hídrica total, somente a cultura do arroz no estudo de Reis et al. (2020) em São Paulo apresentou um valor maior da que foi estimada para o açaí neste estudo, contudo, com uma distribuição bem distinta entre os componentes da pegada hídrica verde, azul e cinza. O açaí apresentou em relação a componente verde da pegada hídrica um valor 90,5% maior que o apresentado no estudo da cultura do arroz em São Paulo (REIS et al., 2020).

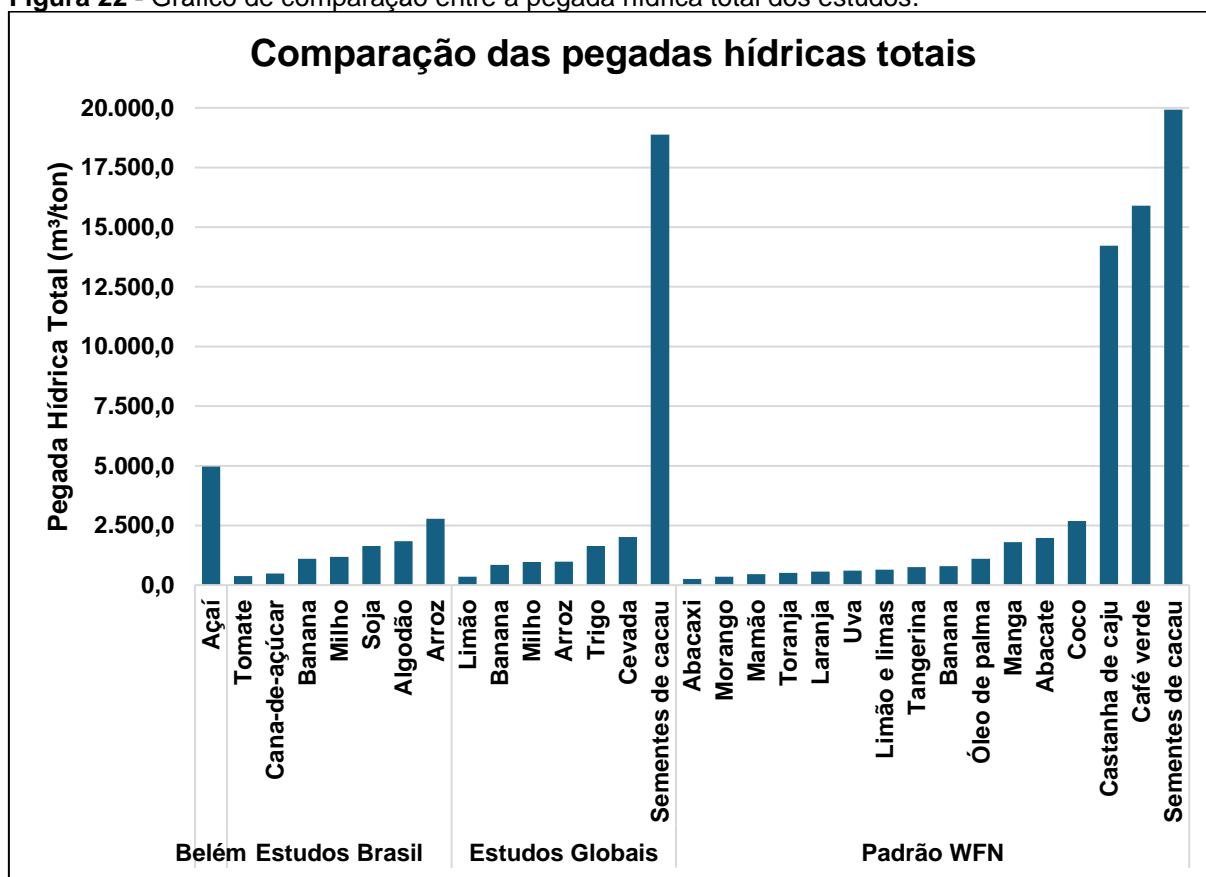
As comparações gráficas entre a segmentação de dados dos valores de referência da WFN, os agrupamentos de estudos a nível nacional e global com os valores apresentados para o açaí neste estudo estão exibidos abaixo, tanto em relação as componentes verde, azul e cinza (Figura 21), quanto em relação à pegada hídrica total (Figura 22).

Figura 21 - Gráfico de comparação entre as componentes da pegada hídrica nos estudos.



Fonte: Autor (2024).

Figura 22 - Gráfico de comparação entre a pegada hídrica total dos estudos.



Fonte: Autor (2024).

Primeiramente cabe citar que, em relação aos gráficos das Figuras 21 e 22, culturas iguais e dentro do mesmo âmbito (estudos globais ou estudos do Brasil) estão agrupadas em um único item, sendo exibidas pelo seu valor médio.

O gráfico da Figura 21 mostra que a componente verde responde pela maior fração da pegada hídrica na maioria das culturas, especialmente nas que apresentam os maiores valores absolutos de pegada hídrica total, como as sementes de cacau (nos estudos globais e no padrão WFN), a castanha de caju e o café verde, por exemplo. A pegada hídrica verde possui na média geral dos estudos o valor de 2.177,1 m³/ton, a maior média entre as componentes, contudo, sua mediana é de 437,8 m³/ton, o que indica que uma concentração maior de culturas está bem abaixo dessa média.

Somente as culturas das sementes de cacau, nos estudos globais, e de arroz nos estudos do Brasil, ultrapassam a marca de 1.000 m³/ton em relação a componente azul, a que possui o maior custo econômico direto entre as componentes, sendo que dentre as 40 culturas da amostra, o valor médio da pegada hídrica azul é de 473,3 m³/ton. Açaí e óleo de palma apresentaram os menores valores para essa

componente azul, com valores zerados, sendo que o maior valor está registrado para as sementes de cacau dos estudos globais com 5.687 m³/ton dessa componente.

A componente cinza representada no gráfico da Figura 21 é relativamente menor em relação as pegadas hídricas verde e azul na composição da pegada hídrica total, assim, foi destacada em uma escala diferente no eixo secundário a direita do gráfico, para facilitar a observação do seu comportamento. A pegada hídrica cinza do açaí está abaixo da média geral dos estudos amostrados que é de 194,3 m³/ton, sendo que o menor valor registrado foi para coco com 16 m³/ton e o maior valor foi para o abacate com 849,0 m³/ton para essa componente, ambos presentes no estudo com os padrões da WFN.

A partir do gráfico da Figura 22 é possível realizar uma análise mais sintética da pegada hídrica total dos estudos apresentados. Observa-se que a pegada hídrica total da cultura do açaí de 4.964,8 m³/ton assumiu o valor máximo dos estudos no Brasil dentro de recorte, com valor bem acima da média de 1.523,7 m³/ton, ao passo que, em relação aos outros estudos também se manteve acima da média, porém mais próximo destas que são de 3.907,9 m³/ton na amostra do padrão WFN e 2.992,9 m³/ton nos estudos globais. O menor valor apresentado é do abacaxi no padrão da WFN, de 255,0 m³/ton, e o maior valor apresentado é da semente de cacau, no mesmo estudo do padrão da WFN, com valor de 19.928,0 m³/ton, demonstrando uma amplitude de 19.673,0 m³/ton no intervalo.

Pode-se inferir ainda que a contabilidade da pegada hídrica sofre grandes variações de valores, mesmo em estudos com escopos semelhantes e dentro da mesma metodologia, o que demonstra a influência e a complexidade da interação de fatores como o tipo de cultura, o clima, o modo de produção agrícola, as tecnologias disponíveis para essa produção, a localização e a sua dinâmica hidrológica, além de limitações e incertezas presentes nas pesquisas.

Hoekstra et al. (2011) colocam que as incertezas dos dados utilizados no cálculo da pegada hídrica podem ser muito significativas, assim os resultados devem ser cuidadosamente interpretados, sendo aconselhável fazer uma análise de sensibilidade e incertezas, ou na impossibilidade de uma análise mais profunda, se ater a indicações preliminares da magnitude dessas incertezas nos cálculos da pegada hídrica, para servir de referência. Assim, as limitações e incertezas desse estudo serão comentadas nas considerações finais.

5.4 RELAÇÃO DA PEGADA HÍDRICA DO AÇAÍ NOS RECURSOS HÍDRICOS DA ÁREA DE ESTUDO

Os resultados apresentados no item 5.2 mostraram que a pegada hídrica total do açaí é na ordem de 4.964,8 m³/ton, contudo, para se compreender a grandeza desse valor no contexto da área de estudo é necessário realizar um ajuste de perspectiva, considerando a quantidade total produzida pelo fruto na região e a partir dessa informação mensurar o volume total de água doce mobilizada pelo processo produtivo do açaí. Dessa forma, retomando-se aos valores observados na Tabela 5, percebe-se que Belém-PA produziu, entre 2017 e 2022, em média 787,0 ton/ano de açaí, isso significa que ao utilizar-se essas variáveis na Equação 13, obtêm-se o valor de pegada hídrica total anual de $3,91 \times 10^6$ m³/ano de água envolvida no processo, sendo 98% desse volume de água verde, ou seja, proveniente das chuvas da região.

Ao utilizar-se novamente a plataforma da *Water Footprint Assessment Tool* (WFN, 2024), pode-se comparar essa pegada hídrica do açaí com de outras espécies agrícolas da área da bacia do rio Tocantins (533 mil km²), como da produção de pimenta com valor de $6,9 \times 10^6$ m³/ano de pegada hídrica total na sua produção, outras frutas tropicais 12×10^6 m³/ano, café 26×10^6 m³/ano, coco 42×10^6 m³/ano, melancia 46×10^6 m³/ano, mamão 77×10^6 m³/ano, banana 260×10^6 m³/ano, e assim por diante. Essa maneira de contabilizar a pegada hídrica total irá sempre variar de acordo com a pegada hídrica da cultura e a sua quantidade produzida na área em estudo, o que permite projetar possíveis impactos potenciais relacionados ao volume de água consumido, fazer a gestão de recursos hídricos dentro do âmbito destacado, dentre outras aplicações e estudos.

Utilizando-se a mesma lógica aplicada acima na Equação 14, obtêm-se a pegada hídrica cinza anual de $7,85 \times 10^4$ m³/ano, ou 215,0 m³/dia. Dados da plataforma HidroWeb (ANA, 2024) mostram que a vazão no rio Guamá (estação 31490000), que abastece Belém-PA na face Sul, possui médias históricas de $7,75 \times 10^6$ m³/dia (89,7 m³/s no ponto de coleta de dados), o que indica um caudal robusto em relação a sua capacidade de diluição e depuração das cargas poluidoras, pois levando-se em consideração somente a produção do açaí, o rio apresenta vazão em um dia maior do que a pegada hídrica cinza da plantação do fruto no ano.

Em contrapartida, dados do SNIS (2023) informam que apenas 20% do esgoto doméstico produzido em Belém-PA é tratado, enquanto dados da plataforma Atlas Brasil são ainda mais pessimistas e indicam que apenas 12% dos domicílios da Região Metropolitana de Belém possuem esgotamento sanitário adequado (PNUD, 2021), o que demonstra que a precariedade do serviço de saneamento na cidade e a que poluição oriunda da produção de todas as outras variedades de culturas agrícolas, mais os efluentes do setor industrial e doméstico somados, podem potencializar cada vez mais essa pressão de cargas poluentes nos corpos hídricos de Belém-PA.

Como visto no capítulo 3, o conceito de escassez hídrica engloba não somente a disponibilidade do recurso hídrico na forma de chuvas e vazão na bacia hidrográfica, mas sim o quanto dessa água estará disponível para o uso consuntivo, livre de poluição e a um custo acessível à população. Considerando que os recursos de água potável são limitados, a pegada hídrica torna-se um indicador muito útil, pois é capaz de mostrar quando, onde e como a plantação de açaí demanda este recurso limitado, todavia, destaca-se que a avaliação da pegada hídrica não aborda demais questões relacionadas com a escassez hídrica, tais como inundações ou falta de infraestrutura para o fornecimento apropriado de água para comunidades carentes, bem como também não aborda outras questões ambientais que não se refiram a escassez de água doce (CASTRO et al., 2019; HOEKSTRA et al., 2011).

Observa-se que a pegada hídrica do açaí se torna relevante no contexto de abrangência da temática, que envolve a alocação e o uso sustentável, justo e eficiente dos recursos naturais, contudo, mesmo inserida em uma análise ambiental, pode e deve ser complementada com outros indicadores relevantes para que ocorra um entendimento mais integrado. Assim, essa avaliação da pegada hídrica funciona como uma ferramenta para facilitar o entendimento das complexas relações entre as atividades humanas e o meio ambiente ao redor, focalizando no uso dos recursos de água doce e considerando sua natureza limitada.

Diante disso, é importante considerar a contribuição que este tipo de estudo pode fornecer na avaliação de sustentabilidade da pegada hídrica e na formulação de respostas à pegada hídrica dentro da área da bacia, a partir das informações apresentadas e dos apontamentos relacionados com as questões de escassez e poluição da água que serão discutidos no item 5.5 a seguir, buscando ainda identificar oportunidades de melhoria e práticas sustentáveis para o açaí no local de estudo.

5.5 SUSTENTABILIDADE E RESPOSTAS À PEGADA HÍDRICA DO AÇAÍ

Ao se discutir a questão da sustentabilidade, deve-se frisar que há três dimensões relacionadas, a ambiental, a social e a econômica. Em relação a dimensão social temos que considerar a garantia de um suprimento mínimo de água de uso doméstico e para a produção de alimentos, pois as comunidades que vivem nas bacias não são necessariamente autossuficientes em termos de alimentos, sendo a segurança alimentar muitas vezes mantida através da importação desses suprimentos. Assim, a pegada hídrica de uma plantação como a do açaí torna-se insustentável do ponto de vista social quando as necessidades básicas das pessoas que vivem na bacia não são satisfeitas ou quando regras básicas de equidade não são cumpridas, desde que a pegada hídrica dessa plantação esteja parcialmente relacionada a estas questões. Regras básicas de equidade incluem princípios como os de “usuário-pagador” e “poluidor-pagador”. Por exemplo, a pegada hídrica cinza de uma plantação pode resultar em problemas para as pessoas que vivem a jusante do rio sem que haja as devidas compensações dos usuários e poluidores de água a montante, gerando conflitos em relação ao uso da água (HOEKSTRA et al., 2011).

Do ponto de vista da dimensão econômica, a água precisa ser alocada e utilizada eficientemente, considerando que a pegada hídrica gerada deve superar os benefícios econômicos se comparada com seu próprio custo total, incluindo fatores externos e custos de oportunidades, se possíveis de serem identificados. Assim, a pegada hídrica é economicamente insustentável quando a água não é reservada e usufruída de maneira eficiente do ponto de vista econômico (HOEKSTRA et al., 2011).

Hoekstra et al. (2011) comentam que, do ponto de vista ambiental, a pegada hídrica de uma bacia se torna insustentável quando as demandas ambientais de água são desrespeitadas ou quando a poluição excede a capacidade de assimilação dos efluentes do corpo hídrico. Ainda de acordo com os autores, a redução da pegada hídrica não é significativa somente em áreas onde há problemas de escassez e poluição de água, pois parte de um conceito equivocado de que a sustentabilidade do uso da água depende apenas do contexto geográfico local, quando na verdade a pegada hídrica pode ser reduzida ou evitada, independentemente do contexto geográfico, visando inclusive a extrapolação de seus resultados positivos para outras

bacias com menor disponibilidade de água e também para contribuir para um uso da água mais sustentável, justo e eficiente em nível global (HOEKSTRA et al., 2011).

Portanto, deve-se considerar que a alta disponibilidade hídrica da região de Belém-PA e a consequente alta capacidade de diluição de efluentes, não reduz a preocupação com a pegada hídrica do açaí, que deve estar sempre presente nesse processo de produção, considerando que o ciclo hidrológico é um sistema aberto que interconecta e influencia diversas bacias e sub-bacias ao mesmo tempo e, considerando ainda, o caso da própria UGRH Tocantins-Araguaia que, de acordo com a ANA (2021), registrou eventos recorrentes de estiagem e crise hídrica entre os anos de 2016 e 2019, o que ratifica o raciocínio mencionado. Diante disso, o manual da WFN coloca possíveis respostas a essas questões envolvendo a necessidade de redução da pegada hídrica em diversos segmentos, as quais serão destacadas a seguir as mais relevantes no processo de produção do agrícola, como no caso das plantações de açaí.

A busca pela redução na pegada hídrica trata-se de um processo com a responsabilidade compartilhada entre consumidores, produtores, investidores e governo, pois a busca por soluções conjuntas é essencial para mitigar os impactos no uso da água. Em relação ao governo, medidas como a implantação de políticas hídricas integradas com políticas ambientais e agrícolas podem ser opções de redução da pegada hídrica de plantações, com a proposição de ações específicas como a definição de metas de redução, incentivos e subsídios ao consumo sustentável e produção de culturas mais eficientes, gestão e gerenciamento sustentável das bacias hídricas, promover e fomentar o uso de tecnologias na agricultura que aumentem a produtividade e reduzam a necessidade de agroquímicos e fertilizantes nocivos ao meio ambiente, dentre outras (HOEKSTRA et al., 2011).

Os atores que podem ser envolvidos mais diretamente nesse processo, para esse caso em estudo, seriam o Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), a ANA e o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA) na esfera federal, a SEMAS/PA e a SEDAP/PA na esfera estadual e a SEMMAS, na esfera municipal.

Em relação as repostas à pegada hídrica da produção agrícola do açaí, considerando as suas componentes verde, azul e cinza, e que de uma forma geral também pode ser aplicado para outras culturas, está resumido no quadro a seguir proposições sugeridas por Hoekstra et al. (2011) no manual da WFN (Quadro 3).

Quadro 3 – Respostas à pegada hídrica na agricultura.

Opções de redução da pegada hídrica para agricultores	
Reduzir a pegada hídrica verde da cultura	Aumentar a produtividade da terra (ton/ha) na agricultura de sequeiro através do aperfeiçoamento das práticas agrícolas, pois, como a chuva na terra permanece a mesma, a produtividade da água (ton/m ³) vai aumentar e a pegada hídrica verde (m ³ /ton) vai diminuir;
	Uso de cobertura morta do solo (<i>mulching</i>), diminuindo assim, a evaporação da superfície do solo.
Reduzir a pegada hídrica azul da cultura	Optar por uma técnica de irrigação que proporcione menor perda por evaporação;
	Escolher outra cultura ou variedade que melhor se adapte ao clima da região, diminuindo a demanda de água para irrigação;
	Aumentar a produtividade da água azul (ton/m ³) ao invés de maximizar a produtividade da terra (ton/ha);
	Melhorar o cronograma de irrigação, otimizando a frequência e a lâmina das aplicações;
	Diminuir a irrigação (irrigação deficitária ou irrigação suplementar) ou deixar de irrigar;
Reduzir a pegada hídrica cinza da cultura	Reduzir as perdas por evaporação da água armazenada em reservatórios e do sistema de distribuição de água.
	Diminuir ou eliminar a aplicação de produtos químicos (fertilizantes e pesticidas artificiais) optando, por exemplo, pela agricultura orgânica;
	Aplicar o fertilizante ou composto de modo que facilite a absorção pelas plantas, reduzindo o risco de lixiviação e de escoamento;
	Otimizar a forma e cronograma de aplicação de produtos químicos reduzindo seu volume, sua lixiviação ou escoamento.

Fonte: Hoekstra et al. (2011), adaptado pelo autor.

Hoekstra et al. (2011) comentam que o objetivo do conteúdo disposto no Quadro 3 é oferecer orientações gerais e não são determinísticas com uma receita a ser seguida. O Quadro 3 mostra que os produtores agrícolas, especialmente os de açaí, neste caso, podem se atentar que é possível atingir uma redução das pegadas hídricas em áreas onde há abundância de água através do aumento da produtividade da água, ou seja, usar de forma mais eficiente o recurso hídrico para reduzir a pressão sobre áreas onde há escassez hídrica. No caso da água azul, isso significa, por exemplo, o uso de menos água de irrigação ou a adoção da agricultura de sequeiro (não irrigada), objetivando uma produtividade maior por volume de água evaporada.

Outro ponto relacionado a se destacar é que a pegada hídrica cinza pode ser reduzida substancialmente evitando-se a aplicação de substâncias químicas nas culturas aliadas ao uso de técnicas e calendários de aplicação mais eficazes. A partir de outro ponto de vista, pegada hídrica cinza também pode ser anulada ou reduzida com a implantação da agricultura orgânica.

Como visto, a cultura do açaí de várzea avaliada neste estudo emprega ou possui o potencial de empregar diversos itens relacionados a essas respostas à pegada hídrica. Em relação à pegada hídrica verde, por exemplo, observa-se que o manejo de áreas extrativistas exploradas na região pode aumentar a produtividade da terra, bem como melhorar a prática de aplicação da cobertura de solo, proposta no Quadro 3.

Em relação as práticas de redução da pegada hídrica azul, o açaí de várzea é o exemplo prático da cultura que melhor se adapta a condições de produção sem a necessidade de irrigação, caracterizando-se como a alternativa de menor impacto em relação a essa componente se comparada com a variedade de açaí plantado em terra firme.

Em relação redução na pegada hídrica cinza, a utilização da agricultura orgânica é um cenário comum e coerente com as áreas de produção extrativistas pouco manejadas do açaí no local de estudo que, apesar de não terem sido consideradas no cenário base deste estudo (foi considerado o uso de fertilizantes nitrogenados), podem ser desenvolvidos de forma mais sistemática na região.

6. CONCLUSÃO

Em Belém-PA o açaí possui uma representatividade muito maior do que sua simples função como fruto e alimento, sua palmeira é umas das mais abundantes na várzea das florestas nativas, sendo meio de subsistência para famílias ribeirinhas e pequenos agricultores extrativistas, mas também é plantado como cultura permanente em propriedades rurais e fazendas, onde gera empregos, movimenta a economia local, representa a cultura e a tradição popular do paraense e já está difundido em outras regiões do Brasil e no exterior.

Nesse contexto, a proposição de investigar o aspecto ambiental de uso da água na atividade agrícola do açaí se mostrou relevante, visto que o tema ainda foi pouco explorado por outros estudos na região, sobretudo se for considerado especificamente a cultura do açaí. O tema se conecta a outros tópicos importantes que também foram abordados neste estudo, como a escassez hídrica, a gestão de recursos hídricos e as metas do ODS 6, relacionadas com o uso sustentável da água. Em relação a escolha da metodologia de avaliação da pegada hídrica, foi realizado um estudo bibliométrico que motivou a adoção da abordagem proposta pela WFN, devido a sua menor complexidade na coleta de dados, seu bom ajuste ao setor agrícola e por ser um indicador espacial e temporalmente explícito de apropriação da água.

É importante citar as limitações e incertezas deste estudo, que fazem parte da natureza desse tipo de pesquisa, assim, cabe comentar alguns pontos, como os relativos aos dados bioclimáticos e de precipitação utilizados que correspondem a normais climatológicas e, dessa forma, representam valores históricos médios, que distanciam os resultados de anos com eventos climáticos anormais como secas ou inundações. Pode-se comentar sobre a existência de outros sistemas produtivos do açaí, como no caso da agricultura orgânica livre de fertilizantes e aditivos químicos ou no caso de plantações em terra firme que utilizam sistemas de irrigação nas plantações, sendo que essas variações não foram consideradas neste estudo.

Sendo assim, apesar de conhecidas essas limitações e incertezas mencionadas, a metodologia foi aplicada concentrando-se no escopo bem delimitado da atividade, pois a tentativa de transposição de alguns dos fatores citados, gerariam obrigatoriamente a necessidade da coleta de novos dados, um número maior de simulações e cenários, a aplicação de novos modelos e a geração de outros resultados, o que extrapolaria a proposição do âmbito desta pesquisa.

Os dados bioclimáticos da área de estudo apontaram uma precipitação efetiva acumulada na ordem de 2.026,5 mm/ano, enquanto a evapotranspiração acumulada da cultura do açaí foi de 1.452,5 mm/ano, indicando um saldo hídrico positivo em relação ao regime pluviométrico. O modelo também identificou que, em cenários de plantio ideal e sem estresse hídrico, entre os meses de junho a dezembro haveria a necessidade de irrigação da cultura, pois são os meses de menor precipitação na região.

A partir da aplicação da metodologia de avaliação da pegada hídrica do açaí em Belém-PA, obteve-se a determinação da pegada hídrica verde igual a 4.865,1 m³/ton, pegada hídrica azul igual a 0,0 m³/ton e pegada hídrica cinza igual a 99,7 m³/ton. O valor da pegada hídrica verde se mostrou relativamente alto quando comparado com outros estudos no Brasil de outras culturas. A questão do alto índice pluviométrico de Belém-PA, a característica fisiológica da palmeira do açaí e a sua produtividade são fatores que influenciam no cálculo e valor dessa componente.

Em relação a pegada hídrica azul, o valor nulo está diretamente relacionado com o sistema produtivo do açaí de várzea, cultivado no sistema de sequeiro. Em comparação com outros estudos nacionais e globais, a pegada hídrica azul do açaí, obviamente, está entre os menores valores, sem embargo, foi possível observar outras culturas com valores também nulos ou próximos ao do açaí nessa componente.

A pegada hídrica cinza do açaí ficou abaixo da média geral dos 40 estudos analisados, contudo, há uma margem para melhoria dessa componente, como na possibilidade de adoção da agricultura orgânica, conforme comentado no capítulo 5.5, sobre as respostas à pegada hídrica. A pegada hídrica total do açaí obtida foi 4.964,8 m³/ton, sendo a maior pegada hídrica em comparação com a amostra de estudos no Brasil, mas superada por 4 culturas nos estudos globais e no estudo padrão da WFN.

Notou-se que algumas culturas possibilitam uma comparação direta de resultados por possuírem estudos em locais diferentes, de autores diferentes, mas com a mesma metodologia de avaliação da pegada hídrica da WFN. No caso do açaí, pode-se inferir apenas que os valores encontrados estão dentro da amplitude de variação dos valores obtidos por outros estudos amostrados para comparação.

Em relação ao volume de água consumido estimado para produção anual do açaí, o valor obtido foi de $3,91 \times 10^6$ m³/ano, sendo a maior parte desse volume associado a água verde. A partir da comparação desse valor com a mesma

informação disponível da produção de outras frutas da área de abrangência do rio Tocantins pode-se motivar a realização de projeções e planos de gestão de recursos hídricos na bacia em relação ao setor agrícola, dentro de outras aplicações possíveis.

O volume estimado de efluentes da pegada hídrica cinza anual do açaí de $7,85 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{ano}$ é pouco significativo diante da alta disponibilidade hídrica e capacidade de diluição de poluentes da região. Todavia, além da escassez física, ligada a quantidade de água disponível, é necessário também levar em consideração fatores qualitativos da área de estudo, como o acesso aos serviços de abastecimento de água em quantidade e qualidade apropriados à população, que podem impulsionar ou comprometer a sustentabilidade do sistema. A metodologia da WFN não abrange essas variáveis qualitativas, tornando-se mais um fator limitante nessa análise.

Por fim, a sustentabilidade da avaliação da pegada hídrica foi discutida nas dimensões sociais, econômicas e ambientais, bem como foram apontadas respostas à pegada hídrica relacionadas a atividade do setor agrícola. Assim, espera-se que este estudo possa subsidiar informações relevantes sobre o aspecto ambiental da pegada hídrica do açaí em Belém-PA, na melhoria da sustentabilidade dos processos da cadeia produtiva do fruto, na gestão de recursos hídricos da bacia e na proposição de políticas públicas na região da área de estudo.

REFERÊNCIAS

ABABAEI, B.; ETEDALI, H. R. **Water footprint assessment of main cereals in Iran**. *Agricultural Water Management*, v. 179, p. 401–411, 2017.

ALLAN, J. A. **Fortunately there are substitutes for water: otherwise our hydropolitical futures would be impossible**. In: ODA Priorities for water resources allocation and management. London, UK: Natural Resources and Engineering Advices Conference v. 1p. 13–26, 1992.

ALLAN, J. A. **Policy responses to the closure of water resources**. In: HOWSAM, P.; CARTER, R. C. (Eds.). *Water Policy: allocation and management in practice*. London, UK: E&FN Spon, p. 03–12, 1996

ALLAN, J. A. **Virtual water: a strategic resource global solutions to regional deficits**. *Ground Water*, v. 36, n. 4, p. 545–546, 1998.

ALLEN, R. G. et al. **Crop Evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements** (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56). Rome, IT, 1998. Disponível em: <<https://www.fao.org/4/X0490E/X0490E00.htm>>. Acesso em: 14 jun. 2024.

ALMEIDA, C. C. DE. **Evolução histórica da proteção jurídica das águas no Brasil**. Jus Navigandi, 2002. Disponível em: <<https://jus.com.br/artigos/3421/evolucao-historica-da-protecao-juridica-das-aguas-no-brasil>>. Acesso em: 7 mar. 2024.

ALMEIDA, F. DE A. E; MAIA, G. DA S. **Estimativa de evapotranspiração e coeficiente de cultura do açaí (Euterpe oleracea Mart.) utilizando o algoritmo SAFER**. Universidade Federal Rural da Amazônia, Tomé-Açu, PA, 2021.

ALMEIDA, R. S. R. **Pegada Hídrica de plantas hortícolas cultivadas no semiárido brasileiro**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2019.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: Regiões Hidrográficas Brasileiras**. Brasília, DF: 2015.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Relatório Pleno, Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2021**, 2021. Disponível em: <<https://relatorio-conjuntura-ana-2021.webflow.io/>>. Acesso em: 6 jun. 2024.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **HidroWeb**, 2024. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/mapa>>. Acesso em: 15 mai. 2024.

ARIA, M.; CUCCURULLO, C. **Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis**. *Journal of Informetrics*, v. 11, n. 4, p. 959–975, 2017.

BAYART, J.-B. et al. **A Framework for Assessing Off-Stream Freshwater Use in LCA**. The International Journal of Life Cycle Assessment, v. 15, n. 5, p. 439–453, 2010.

BLINGER, T.; KOTSUKA, L. K. **Conceitos de água virtual e pegada hídrica: estudo de caso da soja e óleo de soja no Brasil**. Revista de Recursos Hídricos, v. 36, n. 1, p. 15–24, 2015.

BOULAY, A. M.; HOEKSTRA, A. Y.; VIONNET, S. **Complementarities of Water-Focused Life Cycle Assessment and Water Footprint Assessment**. Environmental Science and Technology, v. 47, n. 21, p. 11926–11927, 2013.

BRANDÃO, C. R. P. **Contabilização da pegada hídrica azul, verde e cinza da Rizicultura no perímetro irrigado Betume/SE**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2020.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasil, 1988. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 15 abr. 2024.

BRASIL. **Lei nº 9.433**, de 8 de janeiro de 1997. Brasil, 1997. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm>. Acesso em: 14 abr. 2024.

BRASIL. **Lei nº 11.445**, de 05 de janeiro de 2007. Brasil, 2007. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm>. Acesso em: 15 abr. 2024.

BRASIL. **Regulamento Técnico para fixação dos padrões de identidade e qualidade para polpa de açaí**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, DF, 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/acao-a-informacao/participacao-social/consultas-publicas/documentos/01_09-secao-1-portaria-58.pdf>. Acesso em: 3 mar. 2024.

BRASIL. **Lei nº 14.026**, de 15 de julho de 2020. Brasil, 2020. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm>. Acesso em: 14 abr. 2024.

BRASIL. **Plano Nacional de Recursos Hídricos 2022-2040**. ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, Brasília, DF, 2022.

CAMPOLINA, J. M.; SIGRIST, C. S. L.; MORIS, V. A. DA S. **Uma Revisão De Literatura Sobre Softwares Utilizados Em Estudos De Avaliação Do Ciclo De Vida**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, p. 735–750, 2015.

CAMPOS, N.; STUDART, T. **Gestão de Águas: princípios e práticas**. 2. ed., 278 p., Fortaleza, CE: ABRH, 2003.

CASTRO, A. L. DE A. et al. **Escassez hídrica**. In: UGAYA, C. M. L.; ALMEIDA NETO, J. A. DE; FIGUEIREDO, M. C. B. DE (Eds.). **Recomendação de modelos de AICV para o Contexto Brasileiro**. p. 90–118. Brasília, DF: Ibict, 2019.

CHAPAGAIN, A. K. et al. **The water footprint of cotton consumption: An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries.** *Ecological Economics*, v. 60, n. 1, p. 186–203, 2006.

CHIARELLI, D. D. et al. **The green and blue crop water requirement WATNEEDS model and its global gridded outputs.** *Scientific Data*, v. 7, n. 1, p. 1–9, 2020.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 430**, de 13 de maio de 2011. Brasília, DF, 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res11/res43011.pdf>>. Acesso em: 14 jun. 2024.

CONEJO, J. G. L. et al. **Sobre um índice de disponibilidade hídrica aplicável à gestão dos recursos hídricos.** XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, p. 1–20, 2009.

COSTA, F. DE A. **Economia e Território: Constituição e dinâmica da economia do açaí na região do Grão-Pará (1995-2011).** *Revista franco-brasileira de geografia*, 1 ed., v. 6, Belém, PA, 2022.

COSTA, F. E. V. et al. **Gestão dos recursos hídricos no estado do Pará-Brasil: uma análise de quinze anos de promulgação da Lei nº 6.381/2001 (2001-2016).** *Ciência Geográfica*, v. XXIV, n. 2, p. 712–728, 2020.

COSTA, M. R. et al. **Water footprint of soybean, cotton, and corn crops in the western region of Bahia State.** *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 26, n. 5, p. 971–978, 2021.

DA SILVA, V. DE P. R. et al. **Uma medida de sustentabilidade ambiental: pegada hídrica.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, n. 1, p. 100–105, 2013.

DA SILVA, V. DE P. R. et al. **Measurements and modelling of water footprint of sugarcane cultivated in Paraíba State.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, n. 6, p. 521–526, 2015.

DA SILVA, V. DE P. R. et al. **Water footprint and virtual water trade of Brazil.** *Water (Switzerland)*, v. 8, n. 11, p. 1–12, 2016.

DE OLIVEIRA, V. R. et al. **Water footprint of banana in the Brazilian semi-arid region.** *Revista Ciência Agronômica*, v. 53, p. 1–10, 2022.

DE SOUZA, M. O. et al. **The hypocholesterolemic activity of açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) is mediated by the enhanced expression of the ATP-binding cassette, subfamily G transporters 5 and 8 and low-density lipoprotein receptor genes in the rat.** *Nutrition Research*, v. 32, n. 12, p. 976–984, 2012.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Brasil em 50 alimentos.** Brasília, DF, 2023.

ERCIN, A. E.; ALDAYA, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. **Corporate Water Footprint Accounting and Impact Assessment: The Case of the Water Footprint of a Sugar-Containing Carbonated Beverage**. *Water Resource Manage*, v. 25, p. 721–741, 2011.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **ClimWat 2.0 for CropWat**. Rome, IT, 2006. Disponível em: <<https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/climwat-for-cropwat/en/>>. Acesso em: 12 jun. 2024.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **CropWat 8.0**, Rome, IT, 2010. Disponível em: <<https://www.fao.org/sustainable-development-goals-helpdesk/champion/article-detail/cropwat/en>>. Acesso em: 12 jun. 2024.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Coping with water scarcity: An action framework for agriculture and food security**. ONU - Organização das Nações Unidas. Rome, IT, 2012.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Water stress plugin for Water Evaluation and Planning system (WEAP)**. Rome, IT, 2024.

FARIAS, R. T. S. DE; BRITO, D. M. C. **O açaí no contexto do território e da territorialidade ribeirinha na Amazônia brasileira**. *Confins*, n. 54, p. 1–16, 2022.

FERNANDES, J. L. N. **Mensuração dos custos de transação e de transformação do vinho de açaí: um estudo sobre os batedores de açaí no bairro do Guamá em Belém**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Pará, Belém, PA, 2022.

FERRERO, L. M. M. et al. **Water footprint of lemon production in Argentina**. *Science of the Total Environment*, v. 816, 2022.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. *Revista Brasileira de Educação Médica*, 4. ed., 176 p., São Paulo, SP, 2002.

GONÇALVES, F. et al. **Evolução da legislação brasileira sobre recursos hídricos**. *Os desafios da Geografia Física na fronteira do conhecimento*, p. 806–817, 2017.

GOVERE, S.; NYAMANGARA, J.; NYAKATAWA, E. Z. **Climate change signals in the historical water footprint of wheat production in Zimbabwe**. *Science of the Total Environment*, v. 742, 2020.

GOVERNO DO ESTADO DO PARÁ. **Decreto nº 326**, de 20 de janeiro de 2012. Pará, 2012. Disponível em: <<https://www.ioepa.com.br/pages/2012/2012.01.24.DOE.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2024.

HADDADIN, M. J. **Exogenous water**: A conduit to globalization of water resources (A. Y. Hoekstra, Ed.) Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade. Value of Water Research Report Series nº 12. IHE-UNESCO, Delft, NL, 2003.

HERRERA, M. V. S. et al. **Estimation of virtual water use in Brazilian exports from 2003 to 2014**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 24, n. 6, p. 1229–1238, 2019.

HOEKSTRA, A. Y. **Water neutral**: Reducing and offsetting the impacts of water footprints. Value of Water Research Report Series nº 28. IHE-UNESCO, Delft, NL, 2008.

HOEKSTRA, A. Y. et al. **The Water Footprint Assessment Manual**: Setting the Global Standard. 1. ed., v. 1, London, UK: Earthscan, 2011.

HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K. **The water footprints of Morocco and the Netherlands**: global water use as a result of domestic consumption of agricultural commodities. Ecological economics, v. 64, p. 143–151, 2007.

HOEKSTRA, A. Y.; HUNG, P. Q. **Virtual Water Trade**: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. Value of water research report series nº 11. IHE-UNESCO, Delft, NL, 2002.

HOEKSTRA, A. Y.; MEKONNEN, M. M. **The water footprint of humanity**. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v. 109, n. 9, p. 3232–3237, 2012.

HOMMA, A. K. O. et al. **Açaí**: novos desafios e tendências. In: HOMMA, A. K. O. (Ed.). Extrativismo Vegetal na Amazônia: história, ecologia, economia e domesticação. 1 ed. EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, p. 134–148, Brasília, DF, 2014.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE - Censo Agro 2017**. Disponível em: <<https://censoagro2017.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 22 fev. 2024.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura 2022**. Brasília, DF, 2022.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE Cidades**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 4 fev. 2024.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE PAM – Produção Agrícola Municipal**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?=&t=resultados>>. Acesso em: 17 abr. 2024.

IPAM - INSTITUTO DE PESQUISA AMBIENTAL DA AMAZÔNIA. **Desafios para a sustentabilidade na cadeia do açaí**: subsídios para a iniciativa Açaí Sustentável. Brasília, DF, 2018.

ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14046:2014** - Environmental management — Water footprint — Principles, requirements and guidelines. Geneva, CH, 2014.

KOEHLER, A. **Water use in LCA**: managing the planet's freshwater resources. The International Journal of Life Cycle Assessment, v. 13, n. 6, p. 451–455, 2008.

KOUNINA, A. et al. **Review of methods addressing freshwater use in life cycle inventory and impact assessment**. The International Journal of Life Cycle Assessment, p. 707–721, 2013.

LANDU, L.; BRENT, A. C. **Environmental life cycle assessment of water supply in South Africa**: The Rosslyn industrial area as a case study. Water SA, v. 32, n. 2, p. 249–256, 2006.

LI, Y.; YIN, Y.; ZHANG, W. **Water Footprint Assessment of Major Crops in Henan Province and Reduction Suggestions**. Water (Switzerland), v. 15, n. 6, p. 1–14, 2023.

LIU, J.; YANG, H. **Spatially explicit assessment of global consumptive water uses in cropland**: green and blue water. Journal of Hydrology, v. 384, n. 3–4, p. 187–197, 2010.

MAIA, E. R. B. **Avaliação do ciclo de vida no beneficiamento de malha**: estudo de caso em uma tinturaria no Estado do Paraná. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, 2013.

MARACAJÁ, K. F. B. et al. **Pegada Hídrica como Indicador de Sustentabilidade Ambiental**. Revista de Administração, Contabilidade e Sustentabilidade, v. 2, n. 2, p. 113–125, 2012.

MARINS, M. A. S. **Avaliação da pegada de escassez hídrica**: Um comparativo entre duas metodologias de pegada hídrica aplicada no campus Sorocaba da Universidade Federal de São Carlos. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, SP, 2020.

MARTINOT, J. F. **Manejo agro extrativista do açaí-da-mata na Amazônia central**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM, 2013.

MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. **The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products**. Hydrology and Earth System Sciences, v. 15, n. 5, p. 1577–1600, 2011.

MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. **Sustainability: Four billion people facing severe water scarcity**. Science Advances, v. 2, n. 2, 2016.

MELO, G. K. R. M. M. DE; DANTAS NETO, J.; MARACAJÁ, K. F. B. **Histórico evolutivo legal dos recursos hídricos no Brasil**: uma análise da legislação sobre a gestão dos recursos hídricos a partir da história ambiental. eGov: UFSC, 2012.

MERINO, C. A. N.; RODRIGUEZ, O. O. O.; GALLARDO, R. A. V. **Assessing green and blue water footprints in the supply chain of cocoa production**: A case study in the Northeast of Colombia. *Sustainability (Switzerland)*, v. 10, n. 1, 2018.

MIALYK, O. et al. **Water footprints and crop water use of 175 individual crops for 1990–2019 simulated with a global crop model**. *Scientific Data*, v. 11, n. 1, p. 1–16, 2024.

MINUZZI, R. B.; RIBEIRO, A. J. **Requerimento de Água para Irrigação do Milho em Santa Catarina durante Eventos La Niña**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 12, p. 1330–1337, 2012.

MORAES, F. M. B. DE M. **Reprojeto de produtos saneantes sob o enfoque do ecodesign**: um estudo de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2022.

MOURAD, A. L. et al. **Avaliação do Ciclo de Vida como instrumento de gestão**. 1 ed. Centro de Tecnologia de Embalagem do Instituto de Tecnologia de Alimentos, Campinas, SP, 2007.

NOGUEIRA, A. K. M.; DE SANTANA, A. C.; GARCIA, W. S. **A dinâmica do mercado de açaí fruto no Estado do Pará**: De 1994 a 2009. *Revista Ceres*, v. 60, n. 3, p. 324–331, 2013.

NOGUEIRA, O. L. et al. **Açaí**: Manejo, Produção e Processamento. FRUTAL - Instituto de Desenvolvimento da Fruticultura e Agroindústria, Fortaleza, CE, 2006.

NOGUEIRA, O. L.; FIGUEIREDO, F. J. C.; MÜLLER, A. A. **Açaí**. 1 ed. EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Belém, PA, 2005.

OLIVEIRA, M. DO S. P. DE et al. **Açaí**: Euterpe oleracea. EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Belém, PA, 2017.

OLIVEIRA, M. DO S. P. DE; FARIAS NETO, J. T. DE; QUEIROZ, J. A. L. DE. **Açaizeiro**: Cultivo e Manejo para produção de frutos. Encontro Amazônico de Agrárias. Anais. Belém, PA, 2015.

OLIVEIRA, M. DO S. P. DE; NETO, J. T. DE F.; PENA, R. DA S. **Açaí**: técnicas de cultivo e processamento. Semana da Fruticultura, Floricultura e Agroindústria. Anais. FRUTAL - Instituto de Desenvolvimento da Fruticultura e Agroindústria, Fortaleza, CE, 2007.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Transformando Nosso Mundo**: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. New York, US, 2015.

PAUL, J.; CRIADO, A. R. **The art of writing literature review**: What do we know and what do we need to know? *International Business Review*, v. 29, n. 4, p. 101717, 2020.

PFISTER, S. **Understanding the LCA and ISO water footprint**: A response to Hoekstra (2016) "A critique on the water-scarcity". *Ecological Indicators*, p. 352–359, 2017.

PIMENTEL, B. A. et al. **Estudo de Permeabilidade às margens do Igarapé Sapucajuba**. Relatório Técnico. Universidade Federal do Pará, Belém, PA, 2018.

PMB - PREFEITURA MUNICIPAL DE BELÉM. **Lei nº 8.655**, de 30 de julho 2008, Belém, PA, 2008. Disponível em: <<https://portaltransparencia.belem.pa.gov.br/wp-content/uploads/2021/07/LEI-No-8655-08-PLANO-DIRETOR-MUNICIPAL.pdf>>. Acesso em: 7 mar. 2024.

PNUD - PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil**, 2024. Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br/#home>>. Acesso em: 3 abr. 2024.

R FOUNDATION. **R**, 2024. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>. Acesso em: 6 jun. 2024.

RATTANAPAN, C.; OUNSANEHA, W. **Water footprint assessment of Thai banana production**. *International Journal of Environmental Science and Development*, v. 12, n. 3, p. 151–156, 2021.

REIS, A. et al. **Water footprint analysis of temporary crops produced in São Carlos (SP), Brazil**. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 25, p. 1–17, 2020.

RIBEIRO, G. DE A. **Análise da sustentabilidade ambiental na agroindústria canavieira utilizando a pegada hídrica**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2019.

RUSCHEL, R. R. **O valor global do produto local**: a identidade territorial como estratégia de marketing. 1 ed. São Paulo, SP, 2019.

SALGADO, M. S. **As cadeias de valor alimentar inclusivas e sustentáveis do açaí e do peixe**: o caso de Abaetetuba, PA. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Pará, Belém, PA, 2021.

SANTOS, M. F. N. DOS et al. **Importância da avaliação do ciclo de vida na análise de produtos**: possíveis aplicações na construção civil. *Gestão da Produção, Operações e Sistemas*, v. 2, n. 6, p. 57–73, 2011.

SEDAP – SECRETARIA DE ESTADO DE DESENVOLVIMENTO AGROPECUÁRIO E DA PESCA DO PARÁ. **Boletim** – Dados e Estatística da Agricultura. Disponível em: <<https://sedap.pa.gov.br/boletim-cvis>>. Acesso em 14 abr. 2024.

SEMAS/PA - SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE DO PARÁ. **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Pará**. Belém, PA, 2021. Disponível em: <https://www.semas.pa.gov.br/wp-content/uploads/2023/01/Produto_Final_Sumario_Executivo_do_PERH-PA.pdf>. Acesso em: 18 mai. 2024.

SIEBERT, S.; DÖLL, P. **Quantifying blue and green virtual water contents in global crop production as well as potential production losses without irrigation.** Journal of Hydrology, v. 384, n. 3–4, p. 198–217, 2010.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Painel de Informações sobre o Saneamento Básico no Brasil.** Brasil, 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/painel-de-informacoes>>. Acesso em: 1 maio. 2024.

SURENDRAN, U. et al. **Modelling the Crop Water Requirement Using FAO-CROPWAT and Assessment of Water Resources for Sustainable Water Resource Management: A Case Study in Palakkad District of Humid Tropical Kerala, India.** Aquatic Procedia, v. 4, p. 1211–1219, 2015.

TAVARES, G. DOS S. et al. **Análise da produção e comercialização de açaí no Estado do Pará, Brasil.** In: HOMMA, A. K. O. (Ed.). Sinergias de mudança da agricultura amazônica: conflitos e oportunidades. 1 ed. EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, p. 444–463. Brasília, DF, 2022.

WFN - WATER FOOTPRINT NETWORK. **Water Footprint Assessment Tool,** 2024. Disponível em: <<https://www.waterfootprintassessmenttool.org/>>. Acesso em: 8 jun. 2024.

XIONG, J. et al. **Water Footprint Assessment of Green and Traditional Cultivation of Crops in the Huang-Huai-Hai Farming Region.** Agronomy, v. 12, n. 10, 2022.

APÊNDICE A – Relatório da visita técnica ao sítio Fruto da Fé

Raphael da Silva Martins

**RELATÓRIO DA VISITA TÉCNICA AO SISTEMA AGROFLORESTAL DE
MANEJO E CULTIVO DE AÇAÍ – SÍTIO FRUTO DA FÉ**

Atividade referente à pesquisa da
Dissertação de Mestrado de Avaliação da
Pegada Hídrica da cultura do Açaí em
Belém-PA, Brasil, componente curricular
do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, solicitado e orientado
pela Profa. Dra. Mariane Furtado
Gonçalves.

Belém-PA
2024

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	104
1.1 OBJETIVOS.....	104
1.1.1 Objetivo Geral	104
1.1.2 Objetivos Específicos.....	104
2. RELATÓRIO DA VISITA.....	105
3. CONCLUSÃO	112
REFERÊNCIAS.....	113

1. INTRODUÇÃO

Relatório da visita técnica realizada no dia 16 de janeiro de 2024 ao sítio Fruto da Fé, propriedade destinada a produção de açaí, localizada na área rural do município do Acará-PA que faz fronteira com a microrregião de Belém-PA, onde há a instalação de um sistema agroflorestal de manejo e cultivo do fruto.

A visita técnica ao sítio foi dirigida e guiada pelo proprietário do local, o empresário Paulo Lobato, que também é responsável pela gestão de um estabelecimento de venda de polpa de açaí em Belém-PA, assim, a maior parte da produção do sítio Fruto da Fé é destinada preferencialmente para o ponto batador de açaí do mesmo proprietário, possibilitando uma visão holística dessa cadeia produtiva, que será importante para o alcance dos objetivos dessa atividade, descritos a seguir.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desse relatório é apresentar as informações recolhidas durante a visita técnica realizada junto ao sítio Fruto da Fé.

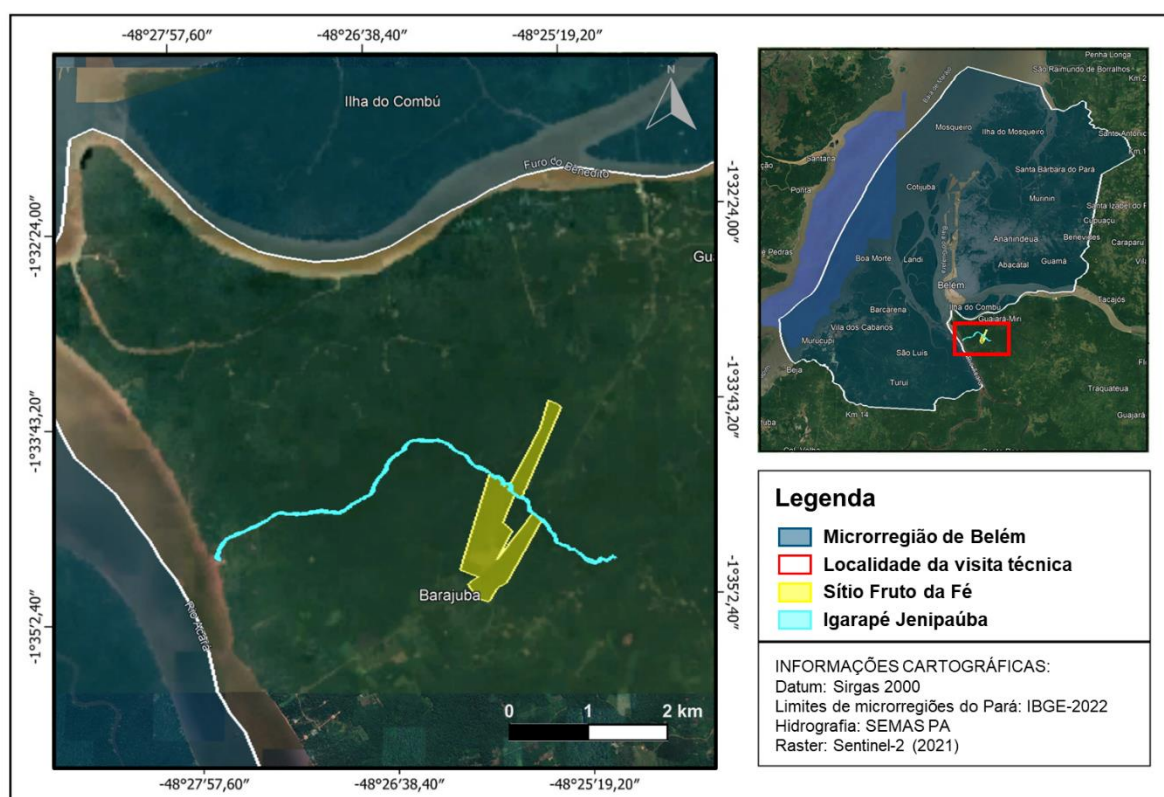
1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos desse relatório são: identificar, descrever, compreender e analisar o processo de funcionamento de uma área produtora de frutos de açaí; realizar uma entrevista não estruturada com o proprietário do local; coletar informações sobre a produção, transporte e comercialização do açaí em Belém-PA.

2. RELATÓRIO DA VISITA

Conforme citado anteriormente, o sítio Fruto da Fé está localizado na área rural do município do Acará-PA, na fronteira com a microrregião de Belém-PA, em uma vila conhecida como ramal do Barajuba que é abastecida pelo igarapé Jenipaúba, corpo hídrico que atravessa a parte do meio da propriedade. O mapa de localização da área do sítio e a demarcação do igarapé Jenipaúba em relação à microrregião de Belém está representada abaixo (Figura 1).

Figura 1 - Mapa de localização da área de produção de açaí visitada.



Fonte: Autor (2024).

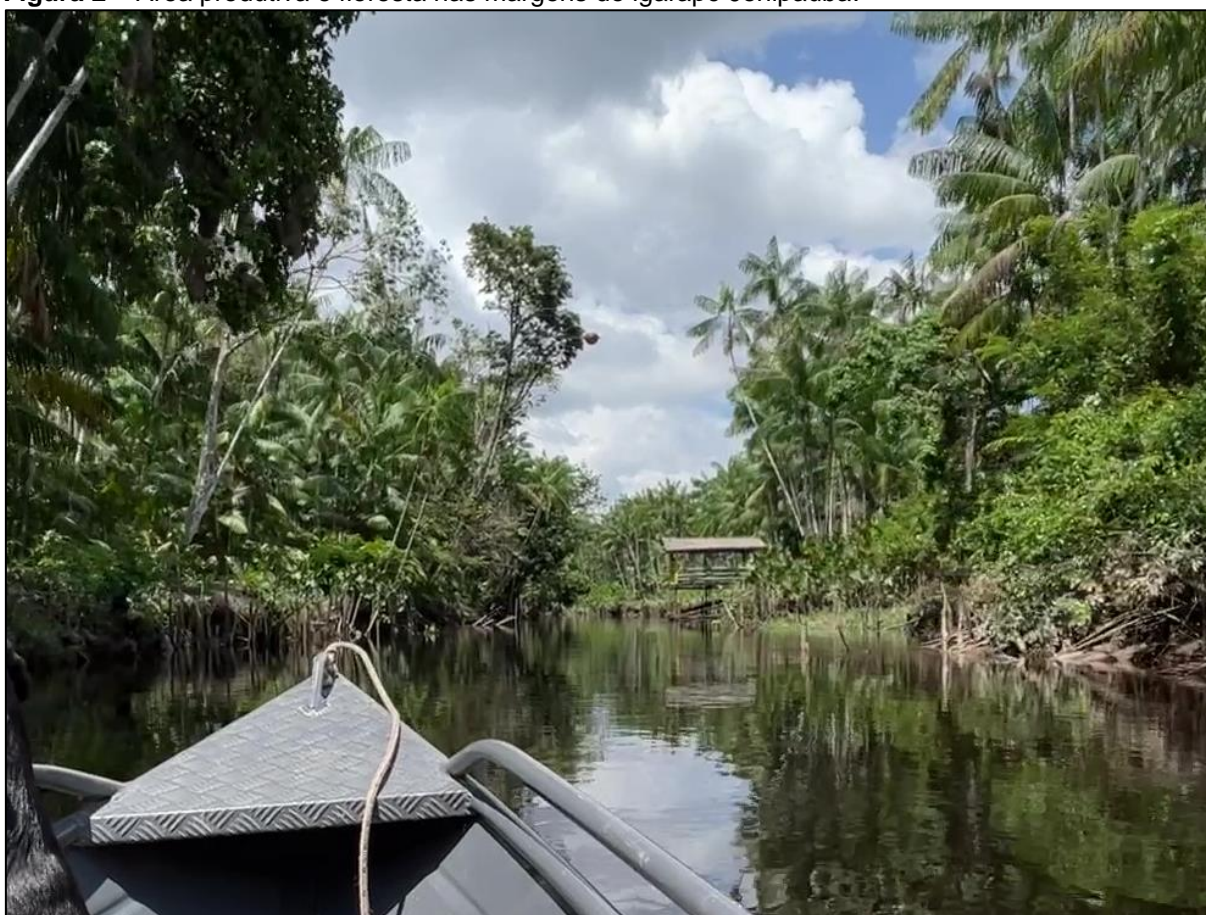
A área do sítio possui aproximadamente 144 hectares (ha), sendo que, de acordo com informações presentes no documento demonstrativo da situação das informações declaradas no Cadastro Ambiental Rural (CAR), a área possui em torno de 10 ha inseridas em Áreas de Preservação Permanente (APP), justificada pela presença do corpo hídrico do igarapé Jenipaúba no local.

De acordo com o Código Florestal, instituído pela Lei nº 12.651 (BRASIL, 2012), a definição de APP é de uma área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade

geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas.

Ainda de acordo com o demonstrativo do CAR, supracitado, em relação a cobertura do solo, a propriedade possui 22,5 ha de área remanescente de vegetação nativa, proposta como área de reserva legal, nesse caso definida no Código Florestal como uma área localizada no interior de uma propriedade com a função de assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural, auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, bem como o abrigo e a proteção de fauna silvestre e da flora nativa (BRASIL, 2012). Essa configuração de áreas produtivas próximas as margens de rios e inseridas no contexto da floresta natural é comum na região (Figura 2).

Figura 2 – Área produtiva e floresta nas margens do igarapé Jenipaúba.



Fonte: Autor (2024).

Como citado inicialmente, a visita técnica foi conduzida pelo produtor agrícola e dono da propriedade – Paulo Lobato (Figura 3). A entrevista não estruturada ocorreu durante o trajeto. De acordo com o Paulo Lobato, a área era um local com característica de explorações mais extrativistas antes da sua aquisição da propriedade, em meados de 2013. Paulo Lobato comentou ainda que, a partir dos últimos anos, começou a estimular os agricultores locais (que trabalham em sua propriedade através de parcerias societárias), a adotarem o processo de manejo dos pés de açaí nativos, além do cultivo de novas palmeiras tanto na várzea quanto em terra firme, assim, o proprietário espera obter um aumento constante na produtividade do local nas próximas safras.

Figura 3 – Proprietário do sítio guiando a visita técnica.



Fonte: Autor (2024).

Para o desenvolvimento inicial das mudas foi providenciada uma estufa no local com capacidade para o armazenamento de até 30 mil pés da palmeira de açaí (Figura 4), que auxilia nesse processo de cultivo e expansão da espécie na área do sítio, assim como permite um desenvolvimento mais controlado na fase inicial da planta.

Figura 4 - Estufa com mudário de pés de açaí no sítio Fruto da Fé.



Fonte: Autor (2024).

O sítio Fruto da Fé conta com os sistemas produtivos tanto do açaí de várzea, que se localiza próximo as margens do igarapé Jenipaúba (Figura 5), quanto o açaí de terra firme na parte mais seca do terreno (Figura 6), cujo cultivo é mais recente e portanto, ainda apresenta áreas em estágio não produtivo, considerando que o pé de açaí começa a ser produtivo somente após o período de 2 a 3 anos depois de plantado.

Figura 5 – Sistema produtivo de cultivo e manejo de açaí de várzea no sítio Fruto da Fé.



Fonte: Autor (2024).

Figura 5 – Sistema produtivo de cultivo e manejo de açaí de terra firme no sítio Fruto da Fé.



Fonte: Autor (2024).

Outra característica possível de ser observada é que as palmeiras do açaí de várzea convivem em sistemas consorciados com outras espécies no meio natural e mesmo com o manejo e adensamento do açaí, essa característica permanece, porém de forma mais discreta, enquanto o açaí de terra firme normalmente convive apenas com a vegetação daninha do local (Figura 7).

Figura 7 – Proprietário do sítio guiando a visita técnica.



Fonte: Autor (2024).

Na época produtiva, os agricultores do sítio Fruto da Fé utilizam-se do igarapé Jenipaúba para o transporte da colheita do açaí até Belém-PA, contudo, no mês dessa visita técnica – em janeiro, não havia produção disponível devido a entressafra do fruto nessa localidade. A seguir, é possível visualizar o igarapé Jenipaúba e alguns barcos utilizados no local (Figura 8).

Figura 8 – Barco de transporte de frutos de açaí no igarapé Jenipaúba.



Fonte: Autor (2024).

Após percorrer a área produtiva do local, desde a sede até as margens do igarapé Jenipaúba, foi realizada uma parada para descanso e hidratação na casa de um dos produtores associados que mora e trabalha no local, que relatou um pouco de sua rotina quantos aos cuidados de manejo das palmeiras de açaí. A seguir foi realizado um breve trajeto de barco até outro ponto da propriedade que possibilitou o retorno para a sede, pelo outro lado do terreno ainda pouco manejado. A visita técnica ao sítio Fruto da Fé durou cerca de 1 hora e 30 minutos e se encerrou nesse momento.

3. CONCLUSÃO

A partir desse relatório foi possível apresentar de forma sintética as informações recolhidas durante a visita técnica realizada junto ao sítio Fruto da Fé, que serão de valiosa utilidade no desenvolvimento da pesquisa da avaliação da pegada hídrica do açaí em Belém-PA, Brasil.

A área produtora estava no período da entressafra, então alguns dos processos produtivos como a colheita, debulha e separação dos frutos não pôde ser presenciada, contudo, foi possível identificar e compreender todo o processo local, a dinâmica da atividade juntos aos produtores agrícolas locais, bem como foi possível vivenciar um pouco da cultura dos ribeirinhos que trabalham e moram no local.

A entrevista com o proprietário do local foi esclarecedora em muitos pontos, principalmente considerando a visão global do processo, considerando que o produtor Paulo Lobato também é responsável pela comercialização da polpa do fruto em um ponto batador de açaí, sendo que dessa forma, conhece todos os elos da cadeia produtiva do produto.

Diante disso, foi possível coletar informações sobre a produção, transporte e comercialização do açaí em Belém-PA, entender as diferenças entre os modelos produtivos do açaí de várzea e o açaí cultivado em terra firme, conhecer a realidade produtiva do açaí *in loco* e todo o contexto envolvido no processo, atingindo portanto os objetivos propostos à visita técnica.

REFERÊNCIAS

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Publicada no DOU de 25/05/2012, 2012. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em 04 de abril 2024.

APÊNDICE B – Memória de cálculo

Segue abaixo a memória de cálculo das equações apresentadas no estudo de avaliação da pegada hídrica do Açaí em Belém-PA, Brasil, exibidas por ordem de resolução na aplicação do método.

Equação (7)

$$ET_0 = \frac{0,408 \cdot \Delta(R_n - G) + \left(\frac{900 \cdot U_2}{T + 237}\right) \cdot (e_a - e_s)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot U_2)} \left[\frac{\text{profundidade}}{\text{tempo}} \right] \quad (7)$$

A Equação 7 é resolvida automaticamente pelo programa *Cropwat*® 8.0, a partir das informações bioclimáticas inseridas, resultando no valor abaixo.

$$ET_0 = 4,3 \text{ [mm/dia]}$$

Equações (8) e (9)

$$P_{eff} = 0,6 \cdot P - 10 \text{ [profundidade]}, \text{ para } P \leq 70\text{mm} \quad (8)$$

$$P_{eff} = 0,8 \cdot P - 24 \text{ [profundidade]}, \text{ para } P > 70\text{mm} \quad (9)$$

Conforme verificado na área de estudo, em todos os meses a precipitação foi maior que 70mm, assim, foi aplicada a somente a Equação 9 para todos os casos.

$$P_{eff, jan} = 0,8 \cdot 366,5 - 24 = 269,2 \text{ [mm]}$$

$$P_{eff, fev} = 0,8 \cdot 417,5 - 24 = 310,0 \text{ [mm]}$$

$$P_{eff, mar} = 0,8 \cdot 436,2 - 24 = 325,0 \text{ [mm]}$$

$$P_{eff, abr} = 0,8 \cdot 360,0 - 24 = 264,0 \text{ [mm]}$$

$$P_{eff,mai} = 0,8 \cdot 304,4 - 24 = 219,5 [mm]$$

$$P_{eff,jun} = 0,8 \cdot 140,2 - 24 = 88,2 [mm]$$

$$P_{eff,jul} = 0,8 \cdot 152,1 - 24 = 97,7 [mm]$$

$$P_{eff,ago} = 0,8 \cdot 131,1 - 24 = 80,9 [mm]$$

$$P_{eff,set} = 0,8 \cdot 140,8 - 24 = 88,6 [mm]$$

$$P_{eff,out} = 0,8 \cdot 116,1 - 24 = 68,9 [mm]$$

$$P_{eff,nov} = 0,8 \cdot 111,8 - 24 = 65,4 [mm]$$

$$P_{eff,dez} = 0,8 \cdot 216,4 - 24 = 149,1 [mm]$$

Equação (10)

$$ET_c = ET_0 \cdot K_c \left[\frac{\text{profundidade}}{\text{tempo}} \right] \quad (10)$$

A Equação 10 é resolvida automaticamente pelo programa *Cropwat*® 8.0, considerando a soma dos valores acumulados dentro do período modelado, que nesse estudo foi de um ano, mudando a unidade de medida de mm/dia para mm/ano, conforme o valor exibido abaixo.

$$ET_c = 1.452,5 [mm/ano]$$

Equações (11) e (12)

$$ET_{verde} = \min(ET_c, P_{eff}) \left[\frac{\text{profundidade}}{\text{tempo}} \right] \quad (11)$$

$$ET_{azul} = \max(0, ET_c - P_{eff}) \left[\frac{\text{profundidade}}{\text{tempo}} \right] \quad (12)$$

Na Equação 11 fez-se a comparação entre o valor da evapotranspiração de referência - ET_c e da precipitação efetiva - P_{eff} , verificando-se que o menor valor é relativo a ET_c . Na Equação 12 verificou-se que a diferença entre a evapotranspiração de referência e a precipitação efetiva é negativa, dessa forma, o maior valor obtido na comparação entre os termos é zero.

$$ET_{verde} = 1.452,5 \text{ [mm/ano]} \quad (11)$$

$$ET_{azul} = 0,0 \text{ [mm/ano]} \quad (12)$$

Equações (4) e (5)

$$DHC_{verde} = 10 \cdot \sum_{d=1}^{pdc} ET_{verde} \left[\frac{\text{volume}}{\text{área}} \right] \quad (4)$$

$$DHC_{azul} = 10 \cdot \sum_{d=1}^{pdc} ET_{azul} \left[\frac{\text{volume}}{\text{área}} \right] \quad (5)$$

Como os valores da evapotranspiração da cultura já estavam acumulados para o período de um ano, assim, a somatória das Equações 4 e 5 é representada pelos próprios valores obtidos nas Equações 11 e 12, multiplicados por 10 para a conversão de mm para m^3/ha . A unidade temporal foi omitida para apresentação da variável em função da sua dimensão de volume de água demanda por área plantada.

$$DHC_{verde} = 10 \cdot 1.452,5 = 14.525,0 \text{ [m}^3\text{/ha]} \quad (4)$$

$$DHC_{azul} = 10 \cdot 0,0 = 0,0 \text{ [m}^3\text{/ha]} \quad (5)$$

Equações (2) e (3)

$$PH_{verde} = \frac{DHC_{verde}}{Prtv} [volume/massa] \quad (2)$$

$$PH_{azul} = \frac{DHC_{azul}}{Prtv} [volume/massa] \quad (3)$$

As Equações 2 e 3 são resolvidas com a simples substituição dos valores encontrados para a demanda hídrica da cultura – DHC_{verde} e DHC_{azul} divididos pelo valor de produtividade adotado para o Açaí. Nesse ponto é importante observar que a produtividade adotada é um valor médio que é apresentado apenas com 3 casas decimais no estudo, mas será apresentado com 5 casas decimais a seguir, para a maior precisão no resultado. A unidade temporal da produtividade também é omitida, mas coincide e se anula com a unidade temporal omitida nas Equações 4 e 5, pois ambos são dados de base anual, dessa forma, a pegada hídrica verde e azul é apresentada na unidade de m^3/ton .

$$PH_{verde} = \frac{14.525,0}{2,98557} = 4.865,1 [m^3/ton]$$

$$PH_{azul} = \frac{0,0}{2,98557} = 0,0 [m^3/ton]$$

Equação (6)

$$PH_{cinza} = \frac{(\alpha.TAQ)/(C_{máx} - C_{nat})}{Prtv} [volume/massa] \quad (6)$$

A Equação 6 é resolvida com a substituição das variáveis da fórmula de acordo com as informações apresentadas no estudo, conforme segue abaixo.

$$PH_{cinza} = \frac{(0,1 \cdot 53,6)/(0,02 - 0,002)}{2,98557} = 99,7 [m^3/ton]$$

Equação (1)

$$PH_{total} = PH_{verde} + PH_{azul} + PH_{cinza} \left[\text{volume} / \text{massa} \right] \quad (1)$$

A Equação 1 é resolvida com a substituição das variáveis da fórmula de acordo com os valores encontrados nas Equações 2, 3 e 6.

$$PH_{total} = 4.865,1 + 0,0 + 99,7 = 4.964,8 \text{ [m}^3\text{/ton]}$$

Equações (13) e (14)

$$PH_{total,ano} = PH_{total} \cdot Prod \left[\text{volume} / \text{tempo} \right] \quad (13)$$

$$PH_{cinza,ano} = PH_{cinza} \cdot Prod \left[\text{volume} / \text{tempo} \right] \quad (14)$$

As Equações 13 e 14 são calculadas pelo produto entre a produtividade adotada e o resultado das Equações 1 e 6, respectivamente.

$$PH_{total,ano} = 4.964,8 \cdot 787,0 = 3,91 \times 10^6 \text{ [m}^3\text{/ano]}$$

$$PH_{cinza,ano} = 99,7 \cdot 787 = 7,85 \times 10^4 \text{ [m}^3\text{/ano]}$$