



Irrigação com reaproveitamento de águas pluviais: aprendizagem e difusão tecnológica do IrrigaPote na Amazônia Oriental

Daniela Pauletto^{1,2}, Lucieta Guerreiro Martorano^{2,3,4}, Verena Santos de Sousa⁵, Ádria Fernandes da Silva⁶, Lucas Sérgio de Sousa Lopes⁷, Aldeize Santos Tribuzy⁸, Marcos Antonio Correa Matos do Amaral¹, Ernélison Angly da Silva Santos^{1,4}

¹Professor/a na Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), Rua Vera Paz s/n. Unidade Tapajós, Bairro Salé, Santarém, Pará, daniela.pauletto@ufopa.edu.br (<https://orcid.org/0000-0003-1855-6077>); marcos.amaral@ufopa.edu.br (<https://orcid.org/0000-0002-7623-6445>); ernelisonangly@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0001-9814-9214>). ²Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia, Belém, Pará. ³Embrapa Amazônia Oriental, Santarém, Pará; lucieta.martorano@embrapa.br (<https://orcid.org/0000-0003-3893-3781>). ⁴Programa de Pós-Graduação Sociedade, Natureza e Desenvolvimento (PPGSND/Ufopa), Santarém, Pará. ⁵Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, verenavsousa@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-6352-4798>). ⁶Voluntária Profissional do Grupo de Pesquisa Cemi - Centro de Estudos em Manejo e Sistemas Florestais Integrados, Santarém, Pará, adriafernandes39@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-9031-7911>). ⁷Campus Capitão Poço, Universidade Federal Rural da Amazônia, Capitão Poço, Pará, lucasasergio@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0003-1613-820X>). ⁸Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia – Núcleo de Apoio a Pesquisa no Estado do Pará, Santarém, Pará, aldeizesantos@yahoo.com.br (<https://orcid.org/0000-0003-1073-7033>). Autora correspondente: daniela.pauletto@ufopa.edu.br

Artigo submetido em 20/05/24 e aceito em 26/05/2024

RESUMO

A adoção de um sistema de irrigação (SI) com recipientes de argila representa uma alternativa eficiente para a captação e distribuição de água no setor agrícola, além de constituir uma tecnologia social. Assim, o objetivo deste estudo foi apresentar e avaliar o processo de instalação e desenvolvimento do SI mencionado, em uma unidade experimental de sistema agroflorestal da Universidade Federal do Oeste do Pará, e explorar as possíveis interações desse projeto. A implementação do SI ocorreu com base no Projeto IrrigaPote; a descrição dos aprendizados, da operacionalidade e dos custos do SI foi realizada a partir da análise de documentos e observações mensais. O monitoramento do crescimento de cultivos com o SI foi conduzido por meio de suas medições mensais. Para identificar conexões do Projeto IrrigaPote com programas, políticas e instituições, realizou-se um levantamento focado nas principais diretrizes, organizações e regulamentações relacionadas ao tema. Os resultados indicaram que a instalação do SI atendeu às expectativas de eficácia na captação e distribuição de águas pluviais e ofereceu uma alternativa de irrigação que pode ser adotada pelos pequenos agricultores, utilizando ferramentas simples e insumos locais. O SI mostrou-se adequado para o crescimento das mudas de banana e acerola. Além disso, existe uma variedade de iniciativas nacionais e/ou programas que potencialmente podem estabelecer interfaces ou conexões com o Projeto IrrigaPote, incrementando suas oportunidades de incentivo e apoio. Tal projeto emerge como uma alternativa para a irrigação sustentável por meio de uma tecnologia social, abrangendo o uso responsável da água, conforme as necessidades e particularidades ambientais e socioeconômicas.

Palavras-chave: Aproveitamento de águas pluviais, sistema de irrigação, sustentabilidade, tecnologia social.

Irrigation with the reuse of rainwater: learning and technological diffusion of irrigapote in the Eastern Amazon

ABSTRACT

The adoption of an irrigation system (IS) with clay containers represents an efficient alternative for the collection and distribution of water in the agricultural sector, as well as a social technology. Therefore, the objective of this study was to present and evaluate the process of installation and development of this IS in an experimental agroforestry system at the Federal University of Western Pará, and to study the possible interactions of this project. The IS was implemented on the basis of the IrrigaPote project, and the experience, operation and costs were described through analysis of documents and monthly observations. Crop growth with the IS was monitored by monthly measurements. In order to identify the links between the IrrigaPote project and programmes, policies and institutions, a survey was carried out focusing on the main policies, organisations and regulations related to the issue. The results showed that the installation of the IS met expectations in terms of efficiency of rainwater harvesting and distribution, and provided an irrigation alternative that could be adopted by smallholder farmers using simple tools and local inputs. The IS was found to be suitable for growing banana and acerola seedlings. In addition, there are a number of national initiatives and/or programmes that could potentially create interfaces or links with the IrrigaPote project, thereby increasing its opportunities for promotion and support. This project is emerging as an alternative for sustainable irrigation through a social technology that includes the responsible use of water in accordance with environmental and socio-economic needs and specificities.

Keywords: Rainwater harvesting, irrigation system, sustainability, social technology.

Introdução

Um dos desafios ao implementar sistemas agroflorestais reside na necessidade de lidar com períodos prolongados de estiagem ou veranicos, durante o período chuvoso, principalmente, quando as culturas estão em fase de estabelecimento nas áreas agricultáveis (Schembergue et al., 2017; Paredes-Trejo et al., 2021). Desta forma, um sistema de irrigação eficiente e sustentável é de suma importância para a manutenção das plantas de interesse agrícola.

No cenário mundial, o Brasil ocupa a décima quarta posição entre os países em desenvolvimento, com apenas 6,7% da área cultivada sendo submetida à irrigação (ICID, 2022). A demanda nacional por captação de água para irrigação é de 49,8% e atinge cerca de 8,2 milhões de hectares. Esse número é considerado modesto em relação ao potencial estimado para esse tipo de prática na agricultura (ANA, 2021). Além disso, uma parcela de 1,45% do território brasileiro está destinada ao fomento da agricultura irrigada sustentável (FAO, 2017).

Neste sentido, tornam-se imprescindíveis medidas e alternativas hídricas para assegurar o fornecimento adequado de água aos cultivos agrícolas, uma vez que 44% da produção de alimentos advém de áreas de agricultura irrigada (FAO, 2012). Ademais, este documento mostra projeções que apontam que o setor agrícola global demandará aproximadamente 19% a mais de recursos hídricos até 2050, visando suprir um aumento de 70% na necessidade alimentar.

Considera-se ainda que a água pode ser um fator de penalização na agricultura irrigada, especialmente, ao se contabilizar a pegada hídrica global, que inclui a água proveniente de chuvas e no interior do país, assim como os volumes de uso de água usados para a aquisição de produtos importados e para fazer produtos de exportação. Cerca de 92% do consumo total na produção agrícola é atribuído a essa pegada hídrica (Hoekstra e Chapagain, 2011; Hoekstra e Mekonnen, 2012; Hoekstra, 2014). Além disso, a falta de infraestrutura energética nas áreas rurais também representa um obstáculo à expansão sustentável da agricultura irrigada (SNI, 2016).

Na perspectiva de alternativas de reposição hídrica de baixo custo, os agricultores tradicionais têm despertado o seu interesse para o uso de potes de argila, e captação e reutilização de água da chuva (Siqueira et al., 2018, Martorano et al., 2018). Tradicionalmente, existem registros da adoção de irrigação com potes de argila em áreas

áridas (Mondal et al., 1992), que também passou a ser testado como uma alternativa em locais onde a escassez hídrica afeta a produção agrícola (Bainbridge, 2001; Adhikary e Pal, 2020).

Em particular, destaca-se a técnica de irrigação com potes, a qual possui baixo custo e alta economia de energia, e tem apresentado resultados eficientes em plantios com pomares e hortaliças (Mondal et al., 1992; Araya et al., 2014) ao ser comparado com o método de irrigação por sulcos em cultivos no Quênia (Kefa et al., 2013) e na Etiópia (Gebru et al., 2018). Esta agrotecnologia tem apresentado resultados promissores no Brasil, como evidenciado em pesquisas no Oeste do Estado do Pará (Martorano, 2020) e pelo interesse em sistemas de citricultura no Sul do país (Siqueira et al., 2018) e estes sistemas de irrigação são considerados conservacionistas (Babiker et al., 2021).

Nesta técnica, os potes de argila possibilitam a retenção de água em seu interior, onde as raízes das plantas, por meio do processo de capilaridade da argila, absorvem somente a quantidade hídrica necessária para sustentar as taxas evapotranspiratórias (Araya et al., 2014, Martorano et al., 2018). Isso assegura a condução de cultivos irrigados dentro dos pressupostos de sustentabilidade ao longo do ano.

No país, o armazenamento de água em potes foi adaptado, incluindo o armazenamento de água pluvial em caixas, que é direcionado para os potes por meio de tubos de policloreto de vinila - PVC, onde sua liberação é controlada por boia reguladora, instalada na tampa dos potes, garantindo a autonomia plena do sistema (Martorano, 2020). Porém, para continuar avançando nesse campo, é necessário avançar com pesquisas sobre a adequação da irrigação com recipientes de argila em vários solos e culturas agrícolas (Gebru et al., 2018).

Tratando-se da realidade do Estado do Pará, situado na Amazônia Oriental, o uso de sistemas de irrigação que possuem baixa eficiência e a insatisfatória assistência técnica são fatores que indicam a necessidade de um maior monitoramento do crescimento da agricultura irrigada e da utilização dos recursos hídricos no referido estado (Souza et al., 2012). No ano de 2017, a área irrigada no território paraense foi de apenas 103.352 hectare, o que é pouco significativo diante do potencial de áreas agricultáveis (IBGE, 2017).

Na agricultura de base familiar, no Pará, existe um predomínio de molhamento das culturas

em detrimento do uso de sistemas de irrigação planejados, devido aos custos elevados dos equipamentos e à falta de assistência técnica, impossibilitando a adoção de técnicas adequadas de manejo da irrigação. Como alternativa a isso, vem sendo implementadas e avaliadas as técnicas de captação das águas pluviais, como o de armazenamento em potes de argila (Martorano et al., 2018; Taufikurahman et al., 2023).

Neste contexto, existe no Estado do Pará o projeto IrrigaPote, que é resultado de uma parceria entre a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), da Amazônia Oriental, e a Universidade de Makelle, na Etiópia. No Brasil, o sistema foi desenvolvido para tornar a solução de armazenamento totalmente autônoma, de baixo custo e fácil adoção pelos agricultores (Siqueira et al., 2018), e vem demonstrando que os agricultores agregam qualidade de vida e melhoram a renda familiar (Carlos et al., 2023).

Com base nisso, o objetivo deste estudo foi apresentar e avaliar o processo de implantação e desenvolvimento de um sistema de irrigação, usando a técnica de captação de águas pluviais em potes de argila, em uma unidade experimental de sistema agroflorestal da Universidade Federal do Oeste do Pará, assim como apresentar as possíveis interlocuções entre o Projeto IrrigaPote e programas, políticas e instituições governamentais e não governamentais.

Para tanto, temos como hipótese central que a implementação de um sistema de irrigação

sustentável com potes de argila para a captação e reutilização de águas pluviais melhora o crescimento e desenvolvimento de culturas agrícolas em sistemas agroflorestais na Amazônia Oriental, contribuindo para a resiliência agrícola e a sustentabilidade ambiental.

Esta hipótese é fundamentada em estudos prévios que comprovaram a eficácia deste sistema em diferentes contextos produtivos e tipos de solo (Carlos et al., 2023; Martorano, 2020; Siqueira et al., 2018) e em trabalhos que destacaram que o sistema representa uma solução econômica e viável para pequenas escalas (Dahri et al., 2022). Além disso, há indicações da necessidade de explorar a irrigação subterrânea (Cai et al., 2021) e avaliar diversas alternativas e opções de irrigação (Chaturvedi et al., 2021), o que também constitui o foco deste projeto.

Material e métodos

Área de estudo A implantação do sistema de irrigação foi realizada na Fazenda Experimental da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), em Santarém, Pará, Brasil (02° 24' 52" S e 54° 42' 36" W), onde são cultivados sistemas agroflorestais experimentais (Figura 1).



Figura 1. Localização do sistema de irrigação com potes de argila em Santarém/PA. Elaboração do Mapa: Thiago G. de Oliveira (2024)

Os solos predominantes da região de estudo são classificados como Latossolo Amarelo

(Brasil et al., 2020). Entretanto, o mapeamento realizado na Fazenda Experimental evidenciou

características típicas de Latossolo Amarelo Distrófico Argissólico (Almada et al., 2021). A classe dos Gleissolos é caracterizada por serem solos hidromórficos, predominantemente minerais, com horizonte glei dentro dos primeiros 150 cm da superfície, imediatamente abaixo de um horizonte A ou H pouco espesso, que se apresenta com classes variando de argilosa até arenosa (Embrapa, 2018). A vegetação predominante na região é caracterizada por formações florestais dominadas pela floresta equatorial subperenifólia de terra firme, com vegetação típica de Floresta Ombrófila Densa (Embrapa, 2001).

Ao analisar o padrão climático utilizando a tipologia adaptada (Martorano et al., 1993), verificou-se que a média pluvial é de 2.010,2 mm e, com base na série histórica (Martorano et al., 2021), no mês menos chuvoso, os valores pluviais ficam abaixo de 60 mm. Há duas estações no ano bem demarcadas pela concentração de chuvas, sendo de dezembro a maio o período mais pluvioso, e o período menos chuvoso se concentra entre junho e novembro.

Implantação do sistema de irrigação nos moldes do Projeto IrrigaPote

A área do projeto possui histórico de uso e ocupação do solo com pecuária bovina por cerca de duas décadas, com posterior pousio de 10 anos e estabelecimento da vegetação secundária (Pauletto et al., 2022). Em 2017, a área foi submetida à retirada da vegetação pelo sistema de corte e queima, seguido de dois anos de novo pousio, culminando na completa eliminação da vegetação natural, utilizando implementos agrícolas no ano de 2019. Nos anos de 2020 e 2021, a área passou a ser utilizada para o cultivo de leguminosas, destinadas à adubação verde do solo, como crotalaria (*Crotalaria juncea* Linn.), feijão de porco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC) e mucuna preta (*Mucuna aterrima* L.).

O experimento foi implantado em uma área de agricultura irrigada, conforme definido pela Política Nacional de Irrigação (Brasil, 2013), configurando-se por empregar técnicas de irrigação em atividade econômica que contempla culturas agrícolas, florestais, ornamentais e pastagens.

Para colocar em funcionamento o sistema de irrigação, realizou-se, em fevereiro de 2022, a instalação de um sistema de captação de água pluvial composto por duas calhas de zinco (cada uma com dimensões de 0,40 x 0,30 x 8,0 m) acopladas ao telhado da edificação de apoio para atividades de campo, totalizando 47,8 m² de área de captação. Esse sistema foi conectado a duas caixas d'água, com capacidade de armazenamento

de 1.000 litros (500 L cada), suspensas a uma altura de 1,80 m do solo, por meio de estrutura de madeira. A completa operacionalização do sistema foi concluída em abril de 2022.

A Figura 2 ilustra de maneira esquemática a distribuição da água para reposição nos potes de argila e a espacialização desse sistema em relação às plantas utilizadas no sistema agroflorestal. Já a Figura 3 mostra, com registros fotográficos, como é o sistema de captação e armazenamento das águas pluviais.

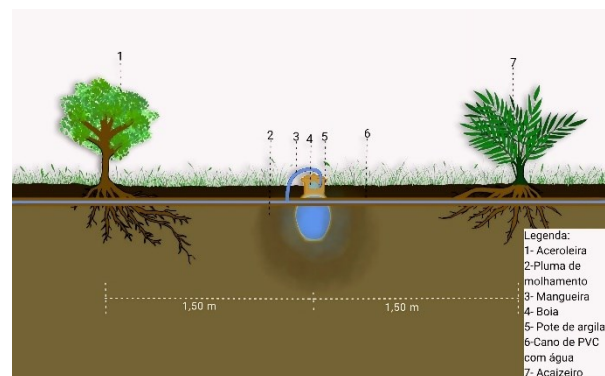


Figura 2. Ilustração representativa do sistema de irrigação utilizando potes de argila implementado na Fazenda Experimental da UFOPA, Santarém, Pará. Arte gráfica: Claudia L. S. Brandão (2022).



Figura 3. Aspectos do sistema IrrigaPote, replicado na Fazenda Experimental da UFOPA, Santarém, Pará. 1. Calha para captação de água pluvial; 2. Calha conduzindo água para o reservatório; e 3. Sistema composto pela caixa d'água e a tubulação para a distribuição de água aos potes de argila no solo. Fonte: Autores (2023).

O sistema de irrigação é baseado no método subterrâneo, pelo qual a água é aplicada abaixo da superfície do solo, na região em que pode ser aproveitada pelas raízes das plantas (ANA, 2021). Este sistema foi implementado por meio da inserção do pote no solo (Figura 4a e 4b), até o

limite superior, de 42 recipientes de cerâmica com capacidade para 12 litros de água cada. A distribuição ocorre por meio de uma rede de tubos de policloreto de vinila (Figura 4c) e mangueiras que transportam a água, por força gravitacional, reabastecendo o estoque em cada pote de forma autônoma, controlada por boias instaladas nas tampas.

Estes recipientes foram posicionados em duas fileiras destinadas ao cultivo de banana (*Musa sp.*), açai (*Euterpe oleracea* Mart.) e acerola (*Malpighia emarginata* DC.), plantadas em janeiro de 2022. Os potes foram posicionados a cada 3 m, mantendo o espaçamento que foi adotado para as plantas. Nestas linhas, também foram eventualmente cultivadas espécies como milho (*Zea mays* L.), macaxeira (*Manihot esculenta* Crantz) e feijão-guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.). O arranjo também incluiu o cultivo de cumaru (*Dipteryx sp.*), disposto em fileiras paralelas às espécies mencionadas anteriormente, com espaçamento de 6 m entre si e com as plantas inseridas no experimento em fevereiro de 2021.

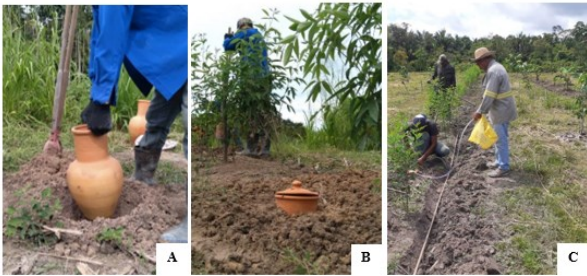


Figura 4. Implementação de sistema de irrigação com potes de argila. 1. Processo de enterramento dos potes no solo; 2. Posicionamento dos potes na linha de cultivo; e 3. Instalação de tubulação para distribuição de água pluvial armazenada. Fonte: Autores (2023).

Aprendizados, operacionalidade e custos

Para discorrer sobre o contexto da implantação, operacionalidade e sobre os principais aprendizados com o sistema de irrigação, foram documentadas as observações durante atividades de manutenção realizadas mensalmente durante as incursões na área experimental. Para avaliar os custos de implantação e manutenção foram computados os gastos associados à aquisição de materiais, insumos e mão de obra (encanador, carpinteiro e trabalhadores gerais) necessários para a instalação do sistema de irrigação.

Monitoramento do crescimento de cultivos

Após a instalação do sistema de irrigação, os passos subsequentes envolveram o

monitoramento do crescimento e produção dos cultivos, no período de junho de 2022 a abril de 2023 (correspondente a 152 a 462 dias após o plantio), com medições mensais. As variáveis consideradas incluíram a altura total da planta em cm (AT), o diâmetro à altura do colo em mm (DAC) e o percentual de sobrevivência de mudas em relação ao número inicial de mudas plantadas. A medida da AT foi feita entre a base do caule e a gema apical principal, utilizando régua graduada. O DAC foi obtido por meio de paquímetro digital.

Para apoiar a discussão neste tópico foram adquiridos os dados de precipitação diária coletados nas dependências da Fazenda Experimental da UFOPA por meio de pluviômetro do tipo convencional de plástico rígido (Cemi, 2022).

Contexto regulatório e organizações convergentes

Para abordar este tópico e identificar interligações com o Projeto IrrigaPote com programas, políticas e instituições, realizou-se um levantamento focado nas principais diretrizes, organizações e regulamentações relacionadas ao âmbito do tema irrigação. A análise abrangeu políticas agrícolas voltadas para o uso eficiente da água, instituições governamentais responsáveis pela gestão hídrica e regulamentações legais relacionadas à captação e uso sustentável de recursos hídricos. Também foram incluídas neste mapeamento instituições que fomentam a divulgação de práticas relacionadas ao uso responsável dos recursos hídricos, Tecnologia Social e alinhamento com objetivos de desenvolvimento sustentável.

Resultados e discussão

Implantação do Projeto IrrigaPote

A aquisição de potes de argila para o projeto foi um desafio devido à indisponibilidade de potes necessários no comércio local do município de Santarém. Como solução, buscou-se o polo artesanal do Distrito de Icoaraci, Belém-PA, onde foram confeccionados os potes com as especificações necessárias - capacidade de armazenamento, ausência de impermeabilizante e orifício para tubulação na tampa - para a instalação do sistema de irrigação. A produção ceramista na região Oeste do Pará está concentrada principalmente em grandes olarias que atendem prioritariamente às demandas da construção civil local - tijolos e telhas.

A instalação do sistema de irrigação aponta evidências sobre a eficácia das soluções adotadas para a captação de águas pluviais, atendendo às expectativas do projeto. A alternativa de utilizar esse sistema na área experimental, que ocorreu devido à indisponibilidade de energia elétrica e insegurança, ajuda a minimizar a necessidade de estruturas complexas e onerosas, como bombas e motores, as quais exigem maiores investimentos para a instalação e vigilância.

Sobre a questão energética, frisa-se que cerca de 430 mil famílias na Amazônia não possuem acesso à energia elétrica e uma parte significativa são agricultores rurais tradicionais (IEMA, 2022). Diante disso, a escassez energética para o uso em irrigação representa um desafio, demandando uma gestão e planejamento mais eficientes das ações voltadas para o uso sustentável dos recursos hídricos (FAO, 2017). Embora haja alternativas para a geração de energia elétrica em pequenas propriedades, como a energia fotovoltaica, os custos elevados de implantação e a dificuldade de acesso a linhas de financiamento ainda não possibilitam a sua adoção massiva por agricultores familiares (Alves et al., 2022; Silva et al., 2022; Sena Silva; Silva Junior; Reis, 2023).

A modalidade de uso da água neste sistema de irrigação é isenta de autorização ou licenciamento ambiental, o que elimina a necessidade de supervisão técnica e trâmites junto ao órgão ambiental. Neste contexto, a experiência realizada em Santarém-PA, por meio da Unidade Referência Tecnológica (URT) do Projeto IrrigaPote, apontou o reuso da água da chuva como uma solução resiliente e que pode ser valorizada como um serviço ambiental (Martorano, 2020), confirmado pelos menores valores de temperatura no solo com base em diagnósticos termográficos (Carlos et al., 2021). Ao reduzir a pressão sobre a captação de água em fontes naturais, o reuso da água da chuva contribui para uma gestão mais sustentável dos recursos hídricos, mitigando potenciais conflitos e promovendo a harmonia entre os usuários. Estudo em áreas de escassez hídrica no Sudão, por exemplo, mostrou que a irrigação com tubo de argila e jarro é uma tecnologia que economiza água quando comparado ao método de irrigação superficial (Babiker et al., 2021).

Outro aspecto vantajoso na instalação da irrigação com potes de argila é o uso de ferramentas simples, aquisição de insumos e mão de obra com oferta local, evitando a necessidade de projetos ou contratação de empresas especializadas. Essa redução da complexidade operacional endossa a funcionalidade do projeto como uma TS, pois,

como exposto por Reichert e Ferreira (2016), este tipo de conhecimento objetiva ser simples, de baixo custo e de fácil aplicabilidade. Além disso, as TS voltadas para captação de água na Amazônia estão em processo de reaplicação nos últimos anos, como estratégia para enfrentar o desafio de acesso à água para as comunidades e povos da floresta (Cavazzani e Silva, 2023).

A adoção da irrigação com potes de argila pode representar a solução para diversas problemáticas enfrentadas por anos pelos pequenos e médios produtores da região do Baixo Amazonas, como a dificuldade de produção diante das mudanças climáticas, assim como as dificuldades de acesso à energia elétrica e à rede de distribuição de água, necessidade de diversificação e escalonamento da produção (Homma, 2021; Santos; Silva, 2022; Marengo et al., 2022).

Ademais, este projeto foi implantado na área de plantio agroflorestal, considerando, entre outros fatores, a indisponibilidade de rede de abastecimento de água no local. Este sistema de irrigação se baseia no princípio de minimizar as perdas de água, principalmente por evaporação e drenagem, em função de liberar água diretamente no interior do solo. Neste sentido, utilizar uma TS pode agregar valor ao conhecimento e ao trabalho humanos, visto que, como expõem Gutierrez et al. (2020), as TS são um modelo civilizador sofisticado, porque atribui aos saberes tradicionais o cerne da tecnologia que une o homem ao seu lugar e dá sentido às suas atividades laborais.

Aprendizados iniciais na operacionalidade da irrigação com potes de argila

Apesar da autonomia do sistema de irrigação proposto e de sua eficiência no reabastecimento de água nos potes, a operacionalidade em longo prazo mostrou alguns desafios e peculiaridades no manuseio. Um exemplo disso foi a estrutura de captação de água, fazendo uso do telhado do acampamento em campo. Para a melhoria das condições térmicas neste local, haviam sido preservados três exemplares de babaçu (*Attalea speciosa* Mart. ex Spreng.), que sombreavam parcialmente a estrutura do acampamento. Devido ao acúmulo excessivo de resíduos de babaçu nas caixas d'água, houve a necessidade de um filtro no cano de distribuição de água para os potes, além do corte de uma dessas plantas. Da mesma forma, o acúmulo de sujeira nos reservatórios de água impactou o funcionamento das boias de controle dos potes, resultando, por vezes, em entupimento e derramamento desnecessário de água, devido ao acionamento ineficaz da bóia.

Torna-se importante mencionar também que pode haver outras situações indesejadas, como se houver mudança da posição da tampa do pote devido a algum impacto, como a utilização de ferramentas, animais, passagem de pessoas etc. Neste caso, é necessário recolocar a tampa na posição correta, sob o risco de a boia, ao tocar a extremidade do pote, não acionar o mecanismo de fechamento.

Quanto à limpeza e manutenção das áreas com instalação de irrigação por potes, é fundamental ter cuidado com o manuseio de ferramentas cortantes (roçadeira, facões, foices) para o controle de plantas espontâneas, uma vez que essas operações podem danificar a mangueira (PVC flexível - policloreto de vinila) que conecta o tubo ao pote. Nesta situação, o controle de plantas espontâneas com aplicação de produtos herbicidas via pulverização poderia minimizar esse problema, assim como a constante cobertura do solo com resíduos vegetais para minimizar o crescimento de plantas indesejadas (Salomão; Ferro; Ruas, 2020). Estas alternativas, porém, representam custos e investimentos que o projeto avaliado não dispunha para aquisição de insumos e para contratação de mão de obra.

Considerando os aspectos operacionais, frisa-se que o sistema proposto possui capacidade máxima de estocagem de 1.000 litros, com os quais é possível reabastecer os potes instalados duas vezes com a reserva disponível. Observou-se, durante incursões, que o consumo de 12 litros por pote ocorria em média de 10 a 14 dias, no período de menor pluviosidade, o que poderia ser estimado, em cerca de 1 litro por dia no raio de pluma de molhamento do pote. Assim, verificou-se a necessidade de pelo menos uma ocorrência de chuva por mês, com registro de mais de 30 mm, o que gera, na área de captação do telhado, um volume aproximado de 1.000 litros para manter os reservatórios devidamente abastecidos.

Para os anos de 2017 a 2023 a maioria das ocorrências diárias de precipitação (87%) não excedeu 12 mm ao longo do ano, enquanto nos meses de agosto a novembro foram registradas as menores ocorrências, com médias mensais variando entre 30,0 e 62,8 mm. Deste modo, enfatiza-se a importância de o projeto desenvolver estratégias para superar as restrições de água em determinados períodos do ano, mediante o planejamento de reservatórios com maior capacidade de armazenamento de água.

Os dados operacionais do primeiro ano de funcionamento revelaram desafios a serem superados para um funcionamento mais eficaz do sistema de irrigação. Diante das questões

apresentadas, torna-se necessário realizar incursões periódicas para verificar o funcionamento do sistema e fazer eventuais ajustes, visando aprimorar a operacionalidade. Afinal, estudos em escala temporal e espacial da tecnologia em uso podem apontar aspectos da viabilidade do sistema (Gebru et al., 2018).

Custos de implantação e manutenção

O projeto destinado a atender uma área de 792 m² com o plantio de 46 mudas de espécies frutíferas resultou em um investimento de R\$ 5.086,00, que foi gasto ao longo de um ano do projeto, entre 2022 e 2023. Deste montante, o maior aporte foi direcionado para a captação e o armazenamento de águas pluviais, incluindo a aquisição de calhas, caixa d'água, conexões e mão de obra, representando 46% do valor gasto. A aquisição dos potes e a logística de transporte compuseram o segundo maior investimento, totalizando 32%. A instalação dos potes e as tubulações para abastecimento nas linhas de plantio consumiram os demais 22% do montante. Cabe destacar que a madeira utilizada para o suporte das duas caixas d'água não foi incluída nessas despesas, devido à disponibilidade existente na unidade experimental.

Neste sentido, o uso desta agrotecnologia de irrigação demanda análises econômicas para verificar a adequação às distintas realidades produtivas (Araya et al., 2014), ainda que venha sendo considerada economicamente viável nas condições de produtores familiares (Martorano et al., 2018). Trabalhos similares realizados na Amazônia Oriental demonstraram melhorias na produção e diversificação agrícola e proporcionaram benefícios sociais e ambientais (Martorano, 2020; Carlos et al., 2021).

A possibilidade de utilizar materiais alternativos e ajustar a implantação do sistema de irrigação são características vantajosas do IrrigaPote. Essas características constituem um contraponto à realidade em que alguns sistemas de irrigação enfrentam, com dificuldades de adoção pelos agricultores, tornando a sua implementação desafiadora, sobretudo, para produtores rurais com receitas anuais limitadas (Tundisi, 2018).

Monitoramento dos cultivos agrícolas

Coletas de solo realizadas no experimento (out/2022), a uma profundidade de 0-20 cm, mostraram a classificação da textura do solo como argilosa (CEMI, 2023). Esse tipo de solo confere às plantas esforços para absorção de água pela maior força de retenção (Dedecek e Gava, 2005; Lopes et al., 2010), pois a textura do solo é a propriedade

que mais influência na retenção hídrica (Klein e Klein, 2015). Além disso, o argissolo é especialmente complexo para retenção de água (Embrapa, 2018), como é o caso da área onde está inserido o projeto. Portanto, a absorção por capilaridade do sistema de irrigação proposto se mostra importante neste contexto de solos com baixa capacidade de retenção de água.

Analisando a série temporal do número de dias com precipitação ao longo do período de 2017 a 2023 (Figura 5), nota-se que foram registrados entre 126 e 162 dias por ano, onde os meses mais chuvosos (dezembro a maio) apresentaram de 13 a 21 dias com chuva, enquanto para os meses mais secos (julho a novembro), a média de dias com chuva variou de 3 a 8, ao longo de cinco anos de monitoramento (CEMI, 2022).

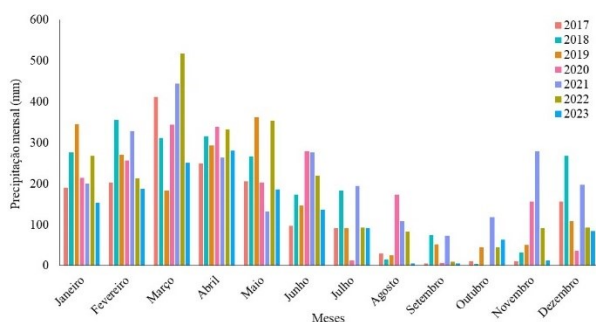


Figura 5. Precipitação mensal (mm) registrada na Fazenda Experimental da UFOPA, Santarém, Pará no período de 2017 a 2023. Fonte: Cemi (2023).

O monitoramento do crescimento das espécies frutíferas revelou que, mesmo com a instalação do sistema de irrigação, as mudas de açaí (*E. oleracea*) demonstraram maior vulnerabilidade à escassez hídrica no solo. No caso dessa espécie, a taxa de sobrevivência reduziu drasticamente nos meses de menor pluviosidade (setembro e outubro/21). A taxa de sobrevivência, que era de 100% em agosto, diminuiu para 85,7% em setembro e atingiu 21,4% em outubro de 2021, correspondendo a 7, 8 e 9 meses de cultivo, respectivamente.

Experimentos com cultivo do açaí em viveiro mostraram que houve redução na taxa de fotossíntese quando o potencial de água foi reduzido, mostrando que essa espécie possui adaptação a um estresse hídrico moderado (Calbo e Moraes, 2000). Outro fator que limita a sobrevivência desta espécie é a disposição de raízes que se encontram predominantemente na camada superficial (Martins e Augusto, 2012). Com isto, elucida-se que a liberação de água fornecida pelos potes precisa estar em conformidade com a demanda hídrica dos cultivos implantados. As mudas de açaizeiro necessitam de cerca de 2 litros

de água por dia e, caso não haja chuvas suficientes (2 mm/dia), haverá a necessidade de irrigação (Nogueira et al., 2006).

Neste sentido, visando aperfeiçoar o cultivo dessa espécie, uma abordagem eficaz poderia ter envolvido a implantação de irrigação suplementar até que as raízes atingissem um estágio mais avançado de desenvolvimento ou realizar a reorganização espacial das mudas, buscando reduzir a distância em relação ao pote. Assim, atribui-se que a posição de instalação dos potes (1,5 m) não permitiu o desenvolvimento de raiz até a pluma de molhamento, comprometendo o cultivo do açaí.

Quanto às mudas de banana (*Musa* sp.), o monitoramento só teve início em setembro de 2021, após um período de sete meses de cultivo, devido à predação dos pseudocaules por animais silvestres nos três primeiros meses das plântulas. A partir do restabelecimento das mudas, observou-se uma sobrevivência de 93% das plantas. Estima-se que uma bananeira em fase adulta consome entre 15 e 30 litros de água diariamente, com variações dependentes das condições de insolação e umidade relativa do ar (Borges et al., 2014). A liberação de 12 litros de água pela porosidade do pote de argila e captação pela capilaridade das raízes é um processo lento, de acordo com a necessidade das plantas.

Em contrapartida, no caso das mudas de acerola (*M. emarginata*), que passaram por um período de monitoramento de 15 meses, a taxa de sobrevivência foi ligeiramente inferior, atingindo 82%. No final deste período, foi possível identificar uma média de $17,01 \pm 4,1$ mm para diâmetro à altura do colo (DAC) e $96,9 \pm 22,4$ cm para a altura total (AT) das mudas de acerola.

Estas constatações reforçam o aprendizado do primeiro ano de projeto, indicando a possibilidade de migração para culturas com menor demanda hídrica, como: abóbora (*Cucumis* sp.), pepino (*Cucurbita* sp.), feijão rasteiro (*Phaseolus* sp.) e amendoim (*Arachis* sp.). Estes cultivos têm a distribuição radicular concentrada na camada mais superficial do solo (Valentim et al., 2001; Trani; Passos; Araújo, 2015), o que corresponde à pluma de molhamento ofertada pelos potes. Existe ainda a possibilidade de consórcio com cultivos perenes lenhosos, nos primeiros anos do sistema agroflorestal, com a inserção dos potes de argilas em localização estratégica para beneficiar cultivos com maior demanda hídrica.

No decorrer das práticas de manejo aplicadas aos cultivos integrados ao sistema de irrigação, foi realizada a remoção de alguns exemplares de feijão-guandu (*C. cajan*), a fim de

mitigar a incidência excessiva de sombreamento sobre as demais espécies. Neste desbaste, observou-se o comportamento das raízes fasciculadas da espécie supracitada quanto à disposição espacial no solo em relação aos potes de irrigação. A Figura 6 mostra que as raízes secundárias buscaram a proximidade do pote, enquanto as raízes de sustentação (primárias) se estabeleceram em diferentes direções no raio de copa das plantas. Sobre isso, evidencia-se que as raízes secundárias são responsáveis pelo fornecimento de água e nutrientes explorados na camada superficial do solo (Wutke et al., 2000; Ochoa, 2006), enquanto as raízes primárias são responsáveis por ancorar as plantas no solo (Souto et al., 2009).



Figura 6. Padrão de disposição espacial de raízes de feijão-guandu (*C. cajan*) cultivado com sistema de irrigação com potes de argila na Fazenda Experimental da UFOPA, Santarém, Pará. Fonte: Autores (2024).

Esta característica das raízes secundárias (finas) é definida como hidropadronização (Bao et al., 2014), onde as raízes laterais se formam preferencialmente no lado da raiz principal em contato com a umidade do solo, demonstrando que a percepção da água está intimamente ligada a uma função biológica central da raiz (Robbins e Dinneny, 2018). Isto é importante para espécies, como o feijão-guandu, que tem intenso crescimento radicular desenvolvido em camadas superficiais (> 60 cm) do solo (Santos; Rodrigues; Banzatto, 1998), profundidade comparável àquela na qual o pote de argila é inserido no solo, com um comprimento de 40 cm.

Foi observado também que, em cultivo experimental de macaxeira (*M. esculenta*), houve direcionamento de raízes finas em direção do pote e da pluma de molhamento. Além disso, o plantio dessa espécie ocorreu, intencionalmente, em período divergente aos cultivos tradicionais na

Amazônia Oriental. Tradicionalmente, a maniva-semente é plantada em dezembro e/ou janeiro, aproveitando o início do período chuvoso na região. Porém, neste caso, o plantio foi iniciado em junho de 2022, a fim de avaliar a capacidade de desenvolvimento das plantas em relação à irrigação por potes. Como resultado, obteve-se a produção de 6,5 kg por planta, indicando uma funcionalidade do sistema de irrigação ao possibilitar o cultivo em um período diferente em comparação aos padrões locais.

Neste contexto, infere-se que as informações obtidas neste estudo corroboram com a literatura, que aponta que a umidade é um fator de direcionamento radicular. As plantas se adaptam às mudanças no suprimento de água aprimorando a arquitetura do sistema radicular (Scharwies e Dinneny, 2019), demonstrando sensibilidade a uma gama de sinais ambientais, incluindo gradientes de umidade (Hart, 1990). As raízes também podem sentir a heterogeneidade em microescala na disponibilidade de água em toda a sua circunferência (Bao et al., 2014).

A avaliação do impacto do sistema de irrigação proposto requer ainda compreender o comportamento das espécies vegetais e do sistema radicular diante da disponibilidade de água por capilaridade. Para isso, é essencial considerar análises complementares que abrangem diversas áreas do conhecimento, como combinar imagens do sistema radicular com análises biofísicas e anatômicas para avançar na compreensão da hidráulica do sistema radicular em relação ao esgotamento da água do solo (Knipfer, 2022). Além disso, explorar o cultivo de outras espécies e conduzir avaliações fisiológicas representam possibilidades de pesquisa futura que podem contribuir para o aprimoramento do sistema de irrigação apresentado.

Sinergia e conexão ou contexto regulatório e organizações convergentes

Em vista da importância da interlocução do Projeto IrrigaPote com ações e políticas, assim como as oportunidades de incentivo e fomento, apresenta-se na Figura 7 a listagem elencada de iniciativas nacionais e/ou programas que potencialmente podem estabelecer interfaces ou conexões com o projeto abordado neste estudo.

No cenário internacional, destaca-se a conexão estabelecida entre o Projeto IrrigaPote e o plano de ação da Comissão Internacional de Irrigação e Drenagem (ICID), cujo propósito é avançar em direção a um mundo caracterizado pela segurança hídrica, erradicação da pobreza e eliminação da fome por meio da promoção do

desenvolvimento rural sustentável (Gundogdu, 2020).

No cenário internacional, cita-se a conexão estabelecida entre o Projeto IrrigaPote e o plano de ação da Comissão Internacional de Irrigação e Drenagem (ICID), cujo intuito é avançar em direção a um mundo caracterizado pela segurança hídrica, erradicação da pobreza e eliminação da fome por meio da promoção do desenvolvimento rural sustentável (Gundogdu, 2020).

Neste contexto, o Projeto IrrigaPote está alinhado com as diretrizes apresentadas no relatório da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) sobre o conceito de agricultura irrigada sustentável, que enfatiza a manutenção dos serviços ambientais dos ecossistemas com maximização do benefício líquido para a sociedade (FAO, 2017). O projeto se também se linha às disposições da Política Nacional de Irrigação, que prevê incentivar a ampliação da área irrigada e o aumento da produtividade em bases ambientalmente sustentáveis (Brasil, 2013).



Figura 7. Esquema ilustrativo das instituições e programas com possível interface ao projeto IrrigaPote.

A promoção e o incentivo desse tipo de sistema de irrigação poderão ser fomentados em conformidade com as disposições delineadas na Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (PNPSA)¹ e na Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH)², que enfatizam a oferta de serviços ambientais de provisão (água) e de regulação (moderação de eventos climáticos). A

implementação de processos de otimização na captação de água, visando minimizar desperdícios, também é uma recomendação da Agência Nacional de Águas (ANA, 2021), e essa diretriz integra as abordagens deste projeto.

Cabe ressaltar que o referido projeto tem envolvimento com o Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional, ao qual estão vinculados às operações do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, Conselho Nacional de Irrigação e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Esses setores têm ligação com as políticas relacionadas aos recursos hídricos (PNRH e Plano Nacional de Irrigação - PNI), assim como aos Sistemas Nacionais de Informações, como o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH)³, o qual disponibiliza uma base de informações sobre águas no Brasil.

Outro aspecto importante é que a produção de alimentos em áreas irrigadas aponta altos valores de pegada hídrica (Costa et al., 2016). Deste modo, o Projeto IrrigaPote se inseriria em cálculos de pegada hídrica verde, que leva em consideração o balanço de volume de água da chuva consumido durante o processo produtivo. Neste cenário, a pegada hídrica (PH) é um método amplamente difundido e adotado por organizações como a Water Footprint Network⁴, que tem como objetivo quantificar e mapear PH. Esse método também avalia a sustentabilidade, eficiência e equidade do uso da água e identifica quais ações estratégicas devem ser priorizadas para tornar uma pegada sustentável.

Entre os fatores que determinam a magnitude da PH de consumo nacional, os produtos agrícolas influenciam fortemente, visto que, globalmente, respondem por 92% da PH global e têm a maior participação na PH total do país⁵ (Hoekstra e Mekonnen, 2012). Estes autores citam que a prática da irrigação é um dos pontos-chave para esta estimativa. Iniciativas, como o sistema de irrigação abordado neste estudo, baseiam-se na premissa de “pensar local e agir globalmente”, visando estabelecer práticas agrícolas mais sustentáveis, como as que se baseiam no aproveitamento das águas pluviais.

Outro fator importante é que o Projeto IrrigaPote tem o potencial de beneficiar produtores de base familiar (Martorano, 2020). Com isso, é

¹ PNPSA. Disponível em:

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/L14119.htm

² PNRH. Disponível em:

https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm

³ SNIRH. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/>

⁴ Water Footprint Network.

<https://www.waterfootprint.org/about-us/aims-history/>

⁵ A pegada hídrica da produção nacional é definida como o volume total de água doce consumida ou poluída no território da nação como resultado das atividades dos diferentes setores da economia.

possível estabelecer conexões e buscar apoio junto a diversas instituições brasileiras especializadas no tema. Como exemplo, citam-se a Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRHidro)⁶, entidade que congrega pessoas físicas e jurídicas e dedica-se ao avanço da gestão de recursos hídricos, e a Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem (Abid)⁷, que visa apoiar o desenvolvimento da irrigação e drenagem no território nacional.

Nota-se ainda que a água é reconhecida como um elemento central do desenvolvimento sustentável, conforme delineado pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU, 2023), sendo considerada o cerne do desenvolvimento sustentável por estar atrelada a 7 dos 17 ODS (Gundogdu, 2020). Como exemplo, um levantamento sobre o abastecimento de água potável na Amazônia Rural registrou 56 TS encontradas, as quais têm concentração na captação e uso de água de chuva e na captação e tratamento de águas superficiais com predomínio da atuação de organizações do terceiro setor (Figueiredo et al., 2023).

Ao avaliar os ODS, observa-se que a tecnologia implementada no Projeto IrrigaPote aponta aderências, em especial, com cinco deles: ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), ODS 6 (Água Limpa e Saneamento), ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima), ODS 15 (Vida Terrestre) e ODS 17 (Parcerias e Meios de Implementação). Isso ocorre porque o projeto visa à produção de alimentos para garantir segurança alimentar, adota a gestão sustentável da água como diretriz operacional e promove o uso de ecossistemas terrestres de modo a tomar medidas de combate à mudança do clima e à promoção do desenvolvimento sustentável.

Nos relatórios anuais das Nações Unidas sobre o Brasil é ressaltado que o ODS 2 é um dos objetivos que mais recebe aportes financeiros (ONU, 2021; ONU, 2022). Como uma das ações para atingir as metas contidas nos ODS 2 e ODS 6, espera-se que sejam fortalecidos os programas e as medidas institucionais para fazer frente à escassez de água e à manutenção de água potável às

populações. Nas áreas que sofrem com problemas hídricos, deve ser incentivada a inclusão de práticas na agricultura que permitam aos pequenos grupos de produtores serem mais resilientes aos efeitos da mudança global do clima, como a retenção de umidade do solo (ONU, 2017). É importante observar que todas essas diretrizes e ações apresentam interface com os objetivos do Projeto IrrigaPote.

O referido projeto ainda abrange, em base conceitual, a dimensão social, representada por diversos atores, como artesãos, produtores rurais e promotores da segurança alimentar em qualquer região onde o sistema for implantado. A tecnologia visa à promoção da prosperidade, manifestada na melhoria da renda do agricultor familiar e estabelece parcerias estratégicas que envolvem pesquisa, ensino, extensão rural e agricultores locais. Além disso, o uso da água da chuva está associado à preocupação com a oferta de água potável no planeta, o que está em consonância com a agenda 2030 (ONU, 2022).

Outra política relacionada ao Projeto IrrigaPote é a Política Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica (PNAPO)⁸, que estabelece uma conexão com a irrigação sustentável, especialmente, para uma produção orgânica. Embora a legislação orgânica não trate especificamente da irrigação, ela promove uma abordagem que fomenta o uso sustentável dos recursos naturais. Também configura nesta lista o Plano Setorial para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária, com vistas ao Desenvolvimento Sustentável (2020-2030) - ABC+⁹, coordenado pela Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Rural e Irrigação (SDI), do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), que, dentre outros objetivos, visa criar e fortalecer mecanismos que possibilitem o reconhecimento e valorização dos produtores que adotam sistemas, práticas, produtos e processos de produção sustentáveis, como é o caso da irrigação com potes de argila e reuso de águas pluviais.

O Projeto IrrigaPote foi certificado como TS pela Fundação Banco do Brasil (FBB)¹⁰ que

⁶ Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Disponível em: <https://www.site.abrhidro.org.br/quemsomos>

⁷ Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem (Abid). Disponível em: <https://www.abid.org.br/>

⁸ PNAPO. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/decreto/d7794.htm

⁹ ABC+. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/agricultura-de-baixa-emissao-de-carbono/abc/programas-e-estrategias>

¹⁰ Fundação Banco do Brasil. Disponível em: <https://www.bb.com.br/site/tecnologiasocial/> e <https://transforma.fbb.org.br/tecnologia-social/irrigapote-reuso-de-aguas-pluvias-na-agricultura-familiar>

lidera o processo de validação e premiação no país por meio de editais. A FBB possui uma base de dados denominada 'Transforma', que conta com tecnologias certificadas e registradas, abrangendo diversos setores.

Neste contexto, existem experiências como o lançamento anual do Catálogo de Tecnologias Sociais pela Universidade Federal Fluminense¹¹, que reúne exemplos que representam um mapeamento em busca de soluções para o desenvolvimento social. Além disso, está em curso o Programa de Tecnologias Sociais Sustentáveis para a Amazônia - Agenda 2030¹², conduzido por pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG) e do Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá (IDSM), com o intuito de realizar um levantamento das TS na região amazônica.

Outra possível interface com o Projeto IrrigaPote é a Plataforma de Soluções para o Desenvolvimento Sustentável da Amazônia¹³, que considerada a abrangência amazônica e deve estar ligada aos ODS, e onde estão listadas e referenciadas 235 iniciativas.

Outras instituições como o Instituto de Tecnologia Social – ITS Brasil, que tem como missão transformar a sociedade por meio do uso de técnicas e metodologias da TS (ITS, 2023) e a Rede de Recursos Humanos e Inteligência para Sustentabilidade na Amazônia (RHISA), que é um ambiente dedicado ao fomento da economia e desenvolvimento de tecnologia e inovação para o desenvolvimento sustentável da Amazônia, têm interface com o projeto e podem ser acionadas e conectadas aos propósitos da solução social do Projeto IrrigaPote.

A fase atual do Projeto IrrigaPote se direciona para novas aplicações que buscam uma integração mais sólida com as comunidades, com o objetivo de gerar o impacto social almejado. Conquistas nesse sentido seriam de suma importância para impulsionar a possível inclusão da tecnologia em programas governamentais. Portanto, esta análise também visa promover a disseminação do conhecimento, reduzindo a distância entre os formuladores de políticas públicas e os potenciais beneficiários.

Conclusão

¹¹ Universidade Federal Fluminense. Disponível em: <http://tecnologiasocial.sites.uff.br/catalogo-de-tecnologias-sociais/>

¹² Projeto Rede Amazônica de Tecnologia Social @redeamazonica_tecnologiasocial. Disponível em:

A implantação do sistema de irrigação com potes de argila demonstrou ser viável e eficaz, satisfazendo às condições dispostas na área de estudo. Esta técnica, caracterizada por sua flexibilidade e possibilidade de adaptação, pode ampliar a capacidade de cultivos em sistema agroflorestal, servindo como estratégia de enfrentamento aos períodos de seca e atuando como uma tecnologia social.

Adicionalmente, o projeto IrriPote encontra consonância com políticas e ações de organizações voltadas para o fomento e a promoção do desenvolvimento sustentável, com os quais é possível estabelecer parcerias.

O acompanhamento periódico do desenvolvimento das plantas impactadas por este sistema de irrigação poderá trazer respostas sobre a eficiência em cultivos anteriormente prejudicados pela baixa disponibilidade hídrica. Espera-se assim que isso contribua para um maior dinamismo no cultivo agrícola ao longo do ano.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES - Brasil (AUXPE – PROAP 0889/20180), a Fazenda Experimental da UFOPA, aos servidores do Núcleo de Apoio a Pesquisa e Transferência de Tecnologia Médio Amazonas da Embrapa e aos discentes voluntários da UFOPA.

Referências

- Adhikary, R., & Pal, A. (2020). Clay Pot Irrigation- A Review Study. *Asian Plant Research Journal*, 5(1), 37-42. <https://doi.org/10.9734/aprj/2020/v5i130099>
- Almada, A. P., Junior, C. R. P., Pereira, M. G., Reis, I. M. S., de Sousa, M. A., Pinto, L. A. D. S., & dos Santos, O. A. Q. (2021). Characterization and classification of soils from an Amazonic Biome in western Pará. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 16(1), 1-8. <https://doi.org/10.5039/agraria.v16i1a8458>
- Alves, F., Valadares, A. A., Silva, S. P., & Bastian, L. (2022). Análise das linhas alternativas de investimento do programa nacional de fortalecimento da agricultura familiar: lógica operacional e assimetrias regionais. *Mercado de Trabalho: conjuntura e análise*, Brasília, 73,

<https://www.gov.br/inpa/pt-br/assuntos/noticias/inpa-chama-comunidade-interna-para-registrar-experiencias-de-tecnologia-social>

¹³ <https://sdsn.fas-amazonia.org/>

- 141-155.
<https://dx.doi.org/10.38116/bmt73/pf5>
- ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – Brasil (2021). Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada. 2. ed., 66.
- Araya, A., Martorano, L. G., Girma, A., Habtu, S., Kebede, H., & Hadgu, K. M. (2014). Comparative efficiency evaluation of different clay pots versus bucket irrigation system under Swiss chard (*Beta vulgaris* subsp. *cicla*) growers condition in Northern Ethiopia. *Malaysian Journal of Medical and Biological Research*, 1(3), 122-127. <https://doi.org/10.18034/mjmr.v2i1.386>
- Babiker, A. E., Maria, H. E., Abd Elbasit, M. A. M., Abuali, A. I., Abu-Zerig, M., & Liu, G. (2021). Potential of low-cost subsurface irrigation system in maize (*Zea mays* L.) production in high water scarcity regions. *AgricEngInt: CIGR Journal Open*, 23(3), 42-51.
- Bainbridge, D. A. (2001). Buried clay pot irrigation: a little known but very efficient traditional method of irrigation. *Agricultural water management*, 48(2), 79-88. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(00\)00119-0](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(00)00119-0)
- Bao, Y., Aggarwal, P., Robbins, N. E., Sturrock, C. J., Thompson, M. C., Tan, H. Q., ... & Dinneny, J. R. (2014). Plant roots use a patterning mechanism to position lateral root branches toward available water. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(25), 9319-9324. <https://doi.org/10.1073/pnas.1400966111>
- Borges, A., Brasil, E., Ana Lucia Borges, C. N.P. M. F., & Brasil, E. C. (2014). Sistema de produção de banana para o estado do Pará. *Embrapa Amazônia Oriental*, 2, 1-51.
- Brasil (2013). Lei nº 12787 de 11 de janeiro de 2013. Dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/112787.htm. Acesso em: 02 fev. 2023.
- Cai, Y., Yao, C., Wu, P., Zhang, L., Zhu, D., Chen, J., & Du, Y. (2021). Effectiveness of a subsurface irrigation system with ceramic emitters under low-pressure conditions. *Agricultural Water Management*, 243, 106390. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106390>
- Calbo, M. E. R., & Moraes, J. A. P. D. (2000). Efeitos da deficiência de água em plantas de *Euterpe oleracea* (açai). *Brazilian Journal of Botany*, 23, 225-230. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042000000300001>
- Carlos, D. Á. I. et al. (2023). Teoria Ba aplicada na irrigação com vasos de barro para pequenos agricultores na Amazônia Oriental brasileira. *Contribuciones a las Ciencias Sociales*, 12, 32817-32836.
- Carlos, D. A. I., Martorano, L. G., GASPAR, A. D. S., Franco, I. M., & SILVA, R. D. (2021). Uma aplicação na geociência da termografia infravermelho para diagnosticar padrões térmico-hídricos em solos com culturas irrigadas por potes de argila no oeste do Pará, Amazônia. *Anuário do Instituto de Geociências*, 44, https://doi.org/10.11137/1982-3908_2021_44_39655
- Cavazzani, G. A., & da Silva, R. O. (2023). Indicadores e replicabilidade de tecnologias sociais para captação de água na Amazônia. *Terceira Margem Amazônia*, 9(21), 75-90.
- CEMI. Centro de Estudos em Manejo e Sistemas Florestais, 2023. Instituto de Biodiversidade e Florestas. Banco de dados do grupo de Pesquisa sobre precipitação na Fazenda Experimental da Universidade Federal do Oeste do Pará. Dados não publicados.
- Chaturvedi, A. K., Surendran, U., & Madhava Chandran, K. (2021). Exploring growth, physiological status, yield and water use efficiency of vegetables grown under wick method of irrigation. *Plant Physiology Reports* 26(1), 64-73. <https://doi.org/10.1007/s40502-020-00565-x>
- Costa, D., Martorano, L., Marques, M., El-Husny, J., & Nacif, A. (2016). Pegada hídrica como indicador de sustentabilidade em polo de grãos na Amazônia. *Enciclopédia Biosfera*, 13(23). https://doi.org/10.18677/Enciclopedia_Biosfera_2016_079
- Cravo, M. D. S., Viegas, I., Brasil, E., Manoel Da Silva Cravo, I. M., & Ismael De Jesus Matos Viegas, U. F. R. A. (2020). Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará.
- Dahri, J., Guo, Z., Bhutto, K. R., Larik, Z. M., Junejo, A. R., & Channa, J. A. (2022). Simple and low-cost irrigation system for (Small Scales) in the arid region of Sindh, Pakistan. *International Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 4(10), 785-790. DOI: <https://www.doi.org/10.56726/IRJMETS30636>
- Dedecek, R. A., & Gava, J. L. (2005). Influência da compactação do solo na produtividade da rebrota de eucalipto. *Revista Árvore*, 29, 383-390. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622005000300005>

- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2018. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos / Humberto Gonçalves dos Santos ... [et al.]. – 5. ed. Brasília, DF: Embrapa.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, Rio de Janeiro, 2001. Caracterização dos solos da área do planalto de Belterra, município de Santarém, Estado do Pará / Tarcísio Ewerton Rodrigues et al. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 55 p.
- FAO. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura, 2017. Agricultura Irrigada Sustentável no Brasil: Identificação de Áreas Prioritárias. 2017.
- FAO. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura, 2012. World Agriculture towards 2030/2050: the 2012 Revision. ESA Working Paper 12-03. FAO, Rome.
- Figueiredo, I. C. S., Pedro, J. P. B., Gomes, M. C. R. L., & Tonetti, A. L. (2023). Abastecimento de água na Amazônia Rural: levantamento de tecnologias sociais, experiências exitosas e instituições atuantes. *Terceira Margem Amazônia*, 9(21), 23-38.
- Gebbru, A. A., Araya, A., Habtu, S., Wolde-Georgis, T., Teka, D., & Martorano, L. G. (2018). Evaluating water productivity of tomato, pepper and Swiss chard under clay pot and furrow irrigation technologies in semi-arid areas of northern Ethiopia. *International Journal of Water*, 12(1), 54-65. <https://doi.org/10.1504/IJW.2018.090188>
- Gundogdu, H. (2020). The ICID Vision 2030 and Action Plan 2017–2021. *Irrigation and Drainage*, 69(2), 199-207. <https://doi.org/10.1002/ird.2251>
- Gutierrez, D. M. D., Carvalho, S. M. S., Rodrigues, D. C. B., & Garcia, J. C. D. (2020). Política nacional de tecnologia social: reflexões a partir de um grupo de trabalho amazônico. *Terceira Margem Amazônia*, 6(14), 31-42.
- Hart, J. W. (1990). *Plant tropisms: and other growth movements*. Springer Science & Business Media.
- Hoekstra, A. Y. (2014). Water scarcity challenges to business. *Nature climate change*, 4(5), 318-320.
- Hoekstra, A. Y., & Chapagain, A. K. (2011). Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources. John Wiley & Sons.
- Hoekstra, A. Y., & Mekonnen, M. M. (2012). The water footprint of humanity. *Proceedings of the national academy of sciences*, 109(9), 3232-3237. <https://doi.org/10.1073/pnas.1109936109>
- Homma, A. K. O. (2021). Amazônia: venda de serviços ambientais ou de atividades produtivas?. *Terceira Margem Amazônia*, 6(16), 23-34.
- IBGE. Instituto Brasileiro de geografia e Estatística. Censo Agropecuário, 2017. Resultados definitivos. Disponível em: <https://censoagro2017.ibge.gov.br/resultadosagro.html>. Acesso em: 18 fev. 2024.
- ICID. International Commission on Irrigation & Drainage, 2022. Annual Report 2021-22 agricultural water management for sustainable rural development. 82 p. Disponível em: https://icid-ciid.org/icid_data_web/ar_2021.pdf. Acesso em: 15 maio 2023.
- IEMA. Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2022. Relatório Anual. Instituto de Energia e Meio Ambiente. 45 p.
- ITS. Instituto de Tecnologia Social – Brasil, 2023. Disponível em <https://www.itsbrasil.net/>. Acesso em: 30 dez. 2023.
- Kefa, C. C., Kipkorir, E. C., Kwonyike, J., Kubowon, P. C., & Ndambiri, H. K. (2013). Comparison of water use savings and crop yields for clay pot and furrow irrigation methods in Lake Bogoria, Kenya. *Journal of Natural Sciences Research*, 3(8), 34-39.
- Klein, C., & Klein, V. A. (2015). Estratégias para potencializar a retenção e disponibilidade de água no solo. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 21-29. <https://doi.org/10.5902/2236117014990>
- Knipfer, T. (2022). Future in the past: water uptake function of root systems. *Plant and Soil*, 481(1), 495-500. <https://doi.org/10.1007/s11104-022-05659-z>
- Lopes, J. L. W., Silva, M. R. D., Saad, J. C. C., & Angélico, T. D. S. (2010). Uso de hidrogel na sobrevivência de mudas de *Eucalyptus urograndis* produzidas com diferentes substratos e manejos hídricos. *Ciência Florestal*, 20, 217-224. <https://doi.org/10.5902/198050981847>
- Marengo, J. A., Galdos, M. V., Challinor, A., Cunha, A. P., Marin, F. R., Vianna, M. D. S., ... & Bender, F. (2022). Drought in Northeast Brazil: A review of agricultural and policy adaptation options for food security. *Climate Resilience and Sustainability*, 1(1), e17. <https://doi.org/10.1002/cli2.17>
- Martins, P. F. D. S., & Augusto, S. G. (2012). Propriedades físicas do solo e sistema radicular do cacauzeiro, da pupunheira e do açaizeiro na

- Amazônia oriental. *Revista Ceres*, 59, 723-730. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2012000500020>
- Martorano, L. G. (2020). Resuso de água da chuva pelo projeto IrrigaPote: estratégia de produção agrícola resiliente na Amazônia. In: *O Meio Ambiente e a Interface dos Sistemas Social e Natural 2*. 1 ed. Ponta Grossa: Atena Editora, 1-15. <https://doi.org/10.22533/at.ed.7842010081>
- Martorano, L. G., Berhe, A. A., da Silva Lima, A. R., Costa, D. C., da Silva Barbosa, A. M., & Marques, M. C. (2018). Water Replenishment in Agricultural Soils: Dissemination of the IrrigaPot Technology. In *Soil Moisture*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.80605>
- Martorano, L. G., Nechet, D., & Pereira, L. C. (1993). Tipologia climática do Estado do Pará: adaptação do método de Köppen. *Boletim de Geografia Teórica*, 23(45-46), 307-312.
- Martorano, L. G., Soares, W. B., Moraes, J. R. D. S. C. D., Nascimento, W., Aparecido, L. E. D. O., & Villa, P. M. (2021). Climatology of air temperature in Belterra: Thermal regulation ecosystem services provided by the Tapajós National Forest in the amazon. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 36, 327-337. <https://doi.org/10.1590/0102-77863620015>
- Melo Souza, R. O. R. de, Pantoja, A. V., do Amaral, M. C. M., & Neto, J. A. P. (2012). Cenário da agricultura irrigada no estado do Pará. *Irriga*, 17(2), 177-188. <https://doi.org/10.15809/irriga.2012v17n2p177>
- Mondal, R. C., Dubey, S. K., & Gupta, S. K. (1992). Use pitchers when water for irrigation is saline. *Indian Agric*, 36(4), 13-14.
- Nogueira, O. L.; Figuerêdo, F. J. C.; Muller, A. A. (2006). Sistema de produção do açaí. Introdução e importância econômica. *EMBRAPA*, 25.
- Ochoa, I. E. (2006). Genetic, physiological, and agronomic evaluation of adventitious rooting as a trait for phosphorus acquisition efficiency in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). The Pennsylvania State University.
- ONU. Organização das Nações Unidas, 2017. Articulando os Programas de Governo com a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. 87 p. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/97142-articulando-os-programas-de-governo-com-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustent%C3%A1vel-e-os>. Acesso em: 15 maio 2023.
- ONU. Organização das Nações Unidas, 2021. Relatório Anual das Nações Unidas no Brasil 2021. 32 p. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/177803-relat%C3%B3rio-anual-da-na%C3%A7%C3%B5es-unidas-no-brasil-2021>. Acesso em: 16 abr. 2023
- ONU. Organização das Nações Unidas, 2022. Relatório Anual das Nações Unidas no Brasil 2022. 37 p. Disponível em: https://brasil.un.org/sites/default/files/2023-03/ONU_Brasil_Relatorio_Anual_2022.pdf. Acesso em: 22 maio. 2023.
- ONU. Organização das Nações Unidas, 2023. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 22 abr. 2023.
- Paredes-Trejo, F., Barbosa, H. A., Giovannetone, J., Lakshmi Kumar, T. V., Thakur, M. K., & de Oliveira Buriti, C. (2021). Long-term spatiotemporal variation of droughts in the Amazon River basin. *Water*, 13(3), 351. <https://doi.org/10.3390/w13030351>
- Pauletto, D.; Santos, S. F. S.; Tavares, R. E. O.; & Gomes, E. S. C. (2022). Silvicultura na Fazenda Experimental da Ufopa: lições e aprendizados. Santarém: Ufopa.
- Reichert, L., Ferreira, T. G. (2016). A prescrição de tecnologias assistivas a partir dos princípios da tecnologia social: a visão dos estudantes de Terapia Ocupacional. *Cad. Ter. Ocup. UFSCar, São Carlos*, 24(3), 485-495. <https://doi.org/10.4322/0104-4931.ctoAO0701>
- Robbins, N. E., & Dinneny, J. R. (2018). Growth is required for perception of water availability to pattern root branches in plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(4), E822-E831. <https://doi.org/10.1073/pnas.1710709115>
- Salomão, P. E. A., Ferro, A. M. S., & Ruas, W. F. (2020). Herbicidas no Brasil: uma breve revisão. *Research, Society and Development*, 9(2), e32921990-e32921990. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i2.1990>
- Santos, D. M. M. D., Rodrigues, T. D. J. D., & Banzatto, D. A. (1998). Desenvolvimento inicial da parte aérea e do sistema radicular do guandu, *Cajanus cajan* (L.) Millsp. *Acta Botanica Brasílica*, 12, 523-530. <https://doi.org/10.1590/S0102-33061998000400019>
- Santos, G. R. D. O., & Silva, R. P. D. O. (2022). Agricultura e diversidades: trajetórias, desafios regionais e políticas públicas no Brasil. <https://doi.org/10.38116/9786556350394>
- Scharwies, J. D., & Dinneny, J. R. (2019). Water transport, perception, and response in plants.

- Journal of plant research,132(3), 311-324.
<https://doi.org/10.1007/s10265-019-01089-8>
- Schembergue, A., Cunha, D. A. D., Carlos, S. D. M., Pires, M. V., & Faria, R. M. (2017). Sistemas Agroflorestais como Estratégia de Adaptação aos Desafios das Mudanças Climáticas no Brasil 2. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 55, 9-30.
<https://doi.org/10.1590/1234-56781806-94790550101>
- Sena Silva, M. A. F. de, Silva Júnior, J. M. T. da, & Reis, A. P. L. (2023). Tecnologias sustentáveis e seu uso na agricultura familiar. *Cuadernos de Educación y Desarrollo*, 15(12), 16834-16848.
<https://doi.org/10.55905/cuadv15n12-092>
- Silva, M. A. da, Souza, S. V., Giimenes, R. M. T., Lopes, A. C. V. (2022). Energia fotovoltaica na agricultura familiar: um estudo de caso na região de Dourados-MS. *Informe GEPEC*, 26(2), 69-86.
<https://doi.org/10.48075/igepec.v26i2.26993>
- Siqueira, T., Siqueira, A. P., Martorano, L. G., da Silva Tânia, M. G., & Grossi-Milani, R. (2018). Irrigapote: Aprendizagem coletiva na utilização de tecnologia de irrigação sustentável. *Educação Ambiental em Ação*, (64), 19.
- SNI. Secretaria Nacional de Irrigação, 2016. Relatório de Gestão Exercício – 2016 – SENIR. Ministério da Integração Nacional. 52 p. Disponível em: <https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/acesoainformacao/relatoriodegestao/2016/Relatrio-de-Gesto---SENIR--Execcio-2016.pdf> Acesso em: 22 maio 2023.
- Souto, J. S., de Oliveira, F. T., Gomes, M. M. S., do Nascimento, J. P., & Souto, P. C. (2009). Efeito da aplicação de fósforo no desenvolvimento de plantas de feijão guandu: *Cajanus cajan* L. Millsp. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 4(1), 22.
- Taufikurahman, T., Susila, E., Ginanjar, T., & Rizkyani, R. D. A. (2023). Increasing the efficiency of water use on agricultural land through developing rainwater harvesting systems. *PERINTIS eJournal*, 13(1), 98-106.
- Trani, P. E., Passos, F. A., & de Araújo, H. S. (2015). Calagem e adubação do pepino. Campinas-SP: Instituto Agrônômico de Campinas.
- Tundisi, J. G. (2018). Reservoirs: new challenges for ecosystem studies and environmental management. *Water Security*, 4, <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2018.09.001>
- Valentim, J. F.; Carneiro, J. C.; & Sales, M. F. L. (2001). Amendoim forrageiro cv. Belmonte: leguminosa para a diversificação das pastagens e conservação do solo no Acre. Embrapa – CPAF/AC, 18 p. Circular Técnica, 43.
- Wutke, E. B., Arruda, F. B., Fancelli, A. L., Pereira, J. C. V. N. A., Sakai, E., Fujiwara, M., & Ambrosano, G. M. B. (2000). Propriedades do solo e sistema radicular do feijoeiro irrigado em rotação de culturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 24, 621-633.
<https://doi.org/10.1590/S0100-06832000000300015>