



Fourth-Generation Knowledge Districts 2024

20-21 May 2024, Campinas, SP

Fotovoltaico e Aquaponia: Uma Proposta de Tecnologia para a Segurança Alimentar (ODS2) em Comunidades Vulneráveis

Julia Motta Carão¹, Daniela Pawelski Amaro Marins², Lohane Barcelos Palaoro³, Anderson Azevedo Fraga⁴, Maxwell Eduardo Monteiro⁵, Marcelo Eduardo Vieira Segatto⁶, Cristina Engel de Alvarez⁷

^{1,4} Centro de Pesquisa Inovação e Desenvolvimento do Espírito Santo (CPID).

^{2,3,6} CPID e Universidade Federal do Espírito Santo.

⁵ CPID e Instituto Federal do Espírito Santo.

⁷ Universidade Federal do Espírito Santo.

¹ juliamottacarao@gmail.com, 0009-0003-6741-112X

² daniela.pawelski@gmail.com, 0000-0002-1315-1313

³ lohanebpalaoro@gmail.com, 0000-0002-4024-3432

⁴ aaafraga@gmail.com, 0000-0003-4914-2416

⁵ maxmonte@gmail.com, 0000-0003-0972-098X

⁶ marcelo.segatto@gmail.com, 0000-0003-4083-992X

⁷ engelalvarez@hotmail.com, 0000-0003-4083-992X

Resumo. Considerando a necessidade de busca de soluções inovadoras para reduzir a insegurança alimentar em comunidades vulneráveis, este estudo avalia uma proposta de criação de uma árvore fotovoltaica integrada aos sistemas de aquaponia e hidroponia, indo ao encontro do 2º ODS (Objetivo de Desenvolvimento Sustentável), Fome Zero. Nesta abordagem, a árvore fotovoltaica alimenta o sistema aquapônico, onde os peixes fornecem nutrientes para as plantas, e a hidroponia coexiste, devolvendo água limpa aos peixes. Essa interação sinérgica e circular visa otimizar a produção de alimentos de forma sustentável. A metodologia inclui levantamento bibliográfico, análise documental e adaptações locais, focando na aldeia indígena Nova Esperança, afetada pelo denominado “desastre de Mariana”. Os resultados esperados da proposta destacam a contribuição dessa abordagem multifacetada para promover sistemas alimentares sustentáveis para populações vulneráveis. A integração de tecnologias renováveis e participação comunitária, podem ser fundamentais para enfrentar desafios como a insegurança alimentar e alcançar o ODS 2.

Palavras-chave: Aquaponia, Árvore Solar, Comunidades, Segurança Alimentar.

1 Introdução

A adoção dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) pela Organização das Nações Unidas (ONU) destaca-se como um referencial a ser seguido para os trabalhos e

iniciativas que envolvam o ser humano, além de evidenciar a crescente necessidade de incorporar práticas sustentáveis e soluções inovadoras em projetos de qualquer escala (United Nations, 2015). A iniciativa da ONU de criar os ODS impulsiona a realização de metas específicas, consolidando um compromisso global em prol de um futuro mais equitativo, resiliente e sustentável.

Além dos ODS, instituições de diversas origens têm empreendido ações adicionais para aprimorar a qualidade de vida, exemplificadas pela formulação de documentos como a Carta das Cidades Inteligentes e os Diagnósticos Regionais - DRS (Receputi et al., 2022), e pelo próprio governo Federal, com diversos instrumentos legais abordando o tema e direcionando as políticas públicas. Essas iniciativas delineiam uma convergência multifacetada de esforços, evidenciando a interdisciplinaridade no contexto da sustentabilidade e do desenvolvimento social (Rogério et al., 2021; Santos Holanda et al., 2021).

Dentre os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, o ODS 2, "Fome Zero", destaca-se por seu compromisso em erradicar a fome, alcançar a segurança alimentar e melhorar a nutrição (Anjos et al., 2013). Suas metas incluem garantir acesso a alimentos seguros, nutritivos e suficientes para todos, além de promover práticas agrícolas sustentáveis e assegurar sistemas alimentares resilientes (Aranha, 2010).

Uma alternativa para auxiliar no alcance do ODS 2 é uma abordagem integrada, como por exemplo, que conte com um sistema de aquaponia e hidroponia alimentado por energia solar fotovoltaica. Essa abordagem integrada pode contribuir para assegurar acesso a alimentos sustentáveis, nutritivos e suficientes, enquanto promove práticas agrícolas e energéticas alinhadas com os ODS.

Nesse sentido, o presente estudo tem como objetivo propor uma alternativa sustentável para obtenção de alimentos em comunidades indígenas do Espírito Santo ou situações semelhantes, visando garantir a segurança alimentar a longo prazo por meio da implementação de tecnologias que promovam a produção local, a preservação ambiental e a autonomia alimentar, contribuindo assim para a melhoria da qualidade de vida e a proteção da cultura indígena.

2 Referencial Teórico

A aquaponia é um sistema de produção de alimentos que integra o cultivo de peixes com a agricultura hidropônica. Nesse método, peixes e plantas são cultivados em um ecossistema microcômico equilibrado, onde os resíduos dos peixes fornecem nutrientes essenciais para as plantas, enquanto as plantas filtram e purificam a água para os peixes, criando um ciclo sustentável de crescimento e desenvolvimento (Rakocy et al., 2004).

O ciclo aquapônico é fundamentado na relação simbiótica entre peixes e plantas, trazendo benefícios já comprovados no que se refere à eficiência hídrica e produção de víveres. Observa-se que os peixes devem ser criteriosamente selecionados devido à sua adaptação ao ambiente aquático e à capacidade de gerar nutrientes. Durante o metabolismo, eles excretam elementos como nitrogênio, fósforo e potássio, sendo que a amônia liberada é convertida por bactérias nitrificantes em nitrito (NO_2^-) e, posteriormente, em nitrato (NO_3^-), os quais servem como nutrientes para as plantas na aquaponia, como ilustrado na Figura 1. Essas bactérias são importantes para o equilíbrio do ciclo de

nutrientes no sistema aquapônico e podem ser encontradas naturalmente em ambientes aquáticos ou introduzidas no ambiente por diversas formas, como por exemplo, diretamente na água; nos substratos onde as plantas são cultivadas; ou em sistemas de filtragem biológica, como bio-filtros ou mídias filtrantes. A água, enriquecida, é direcionada para o sistema hidropônico, onde as plantas absorvem os nutrientes dissolvidos. Posteriormente, a água, agora limpa, retorna aos tanques de peixes, fechando o ciclo. Desta forma, a natureza fechada do sistema aquapônico associado à hidroponia contribui para a reciclagem da água, reduzindo o desperdício hídrico de forma substancial (David et al., 2022).

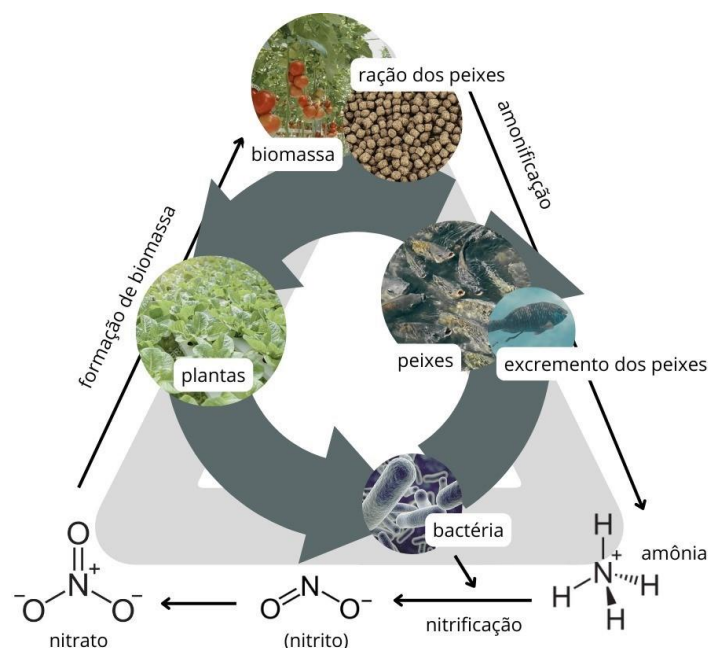


Figura 1. Representação do ciclo simbólico de aquaponia. Fonte: adaptado de Goddek et al., 2015.

Os peixes selecionados – como tilápia, bagre ou trutas –, são escolhidos não apenas para manter o sistema hidropônico, mas, também, para serem consumidos. A densidade populacional nos tanques é ajustada para garantir tanto a eficiência do sistema, em termos de quantas plantas são necessárias para manter o equilíbrio, quanto para o bem-estar dos peixes destinados ao consumo. A avaliação da produção considera diversos fatores, como crescimento das plantas, densidade populacional de peixes e condições controladas, visando otimizar a eficiência do ciclo aquapônico.

Um sistema básico de aquaponia possui componentes essenciais, incluindo um aquário de piscicultura, um decantador, um biofiltro e uma unidade hidropônica (Maucieri et al., 2018). Além desses elementos, bombas de água também são importantes para o ciclo aquapônico por serem responsáveis por realizar a circulação do sistema.

A utilização da técnica de Análise de Componentes Principais (PCA) representa uma abordagem promissora e possível para aprimorar a eficiência de projetos na aquicultura. Ao permitir o monitoramento simultâneo de múltiplos parâmetros, como temperatura, salinidade, amônia, pH, dióxido de nitrogênio e bromo, a PCA oferece informações sobre

a estrutura interna dos dados dentro do tanque de peixes, identificando correlações e padrões subjacentes que podem ser utilizados para a resolução mais eficaz dos eventuais problemas ocorridos no sistema. Essa compreensão possibilita otimizar a produção, garantir o bem-estar dos organismos aquáticos e atender aos requisitos ambientais (Silva et al., 2021).

O sistema de hidroponia é uma técnica de cultivo independente de solo, na qual as raízes das plantas são suspensas em uma solução nutritiva que fornece os nutrientes essenciais para o crescimento. Nesse método, a água atua como veículo para transportar os nutrientes diretamente para as raízes das plantas, eliminando a necessidade de solo. Essa solução nutritiva está continuamente acessível às plantas, o que leva a um melhor desenvolvimento das mesmas. Comumente empregada em estufas e ambientes controlados, a hidroponia oferece benefícios como a redução no consumo de água, o controle preciso dos nutrientes e a criação de condições ideais para o crescimento das plantas (Mariyappillai et al., 2020).

Para garantir a operação eficaz do sistema aquapônico, são necessários alguns insumos que podem ter um impacto significativo, tanto do ponto de vista financeiro quanto ambiental. Um desses insumos é a energia elétrica demandada pelas bombas de água. O consumo de eletricidade durante a operação contínua das bombas é inevitável, uma vez que elas precisam funcionar ininterruptamente por todo o dia para manter a circulação adequada da água no sistema.

Uma alternativa para atender à demanda energética do sistema aquapônico é a implementação de sistemas de geração de energia renovável. Alam et al. (2022) propuseram a integração de um sistema aquapônico com um sistema fotovoltaico off-grid a fim de avaliar aspectos como a taxa de sobrevivência dos peixes, o crescimento das plantas e a autossuficiência do sistema alimentado por energia solar. O estudo conduzido por eles revelou que o desempenho do sistema de bombeamento de água, alimentado por energia solar, é altamente influenciado pelas condições climáticas. Em dias chuvosos, por exemplo, houve uma diminuição na produção de energia, resultando em uma menor eficiência das bombas. No entanto, os resultados também indicaram que o período em que as bombas ficaram inativas, devido à baixa produção de energia, não teve um impacto significativo na qualidade da água e na produção agrícola. A Figura 2 apresenta os principais componentes do sistema de aquaponia associado a um sistema fotovoltaico off-grid.

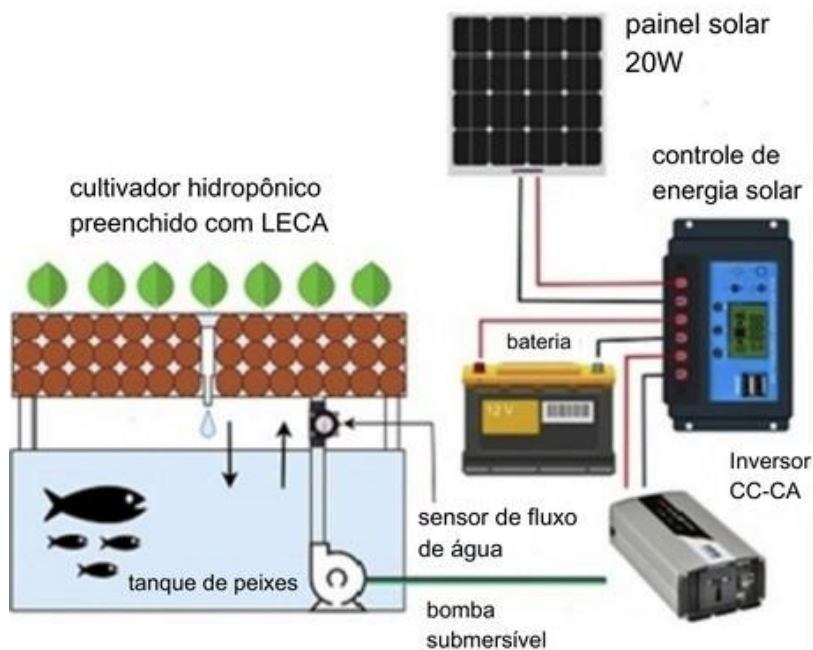


Figura 2. Sistema básico de aquaponia e seus componentes. Fonte: adaptado de Alam et al., 2022.

A aquaponia, um método de cultivo conhecido pelo uso eficiente de água, é particularmente adequada para locais onde a água é escassa e o solo é árido, como em regiões desérticas. Nessas áreas, a segurança alimentar é uma preocupação significativa, especialmente quando associado a um rápido crescimento populacional. Para promover a operação sustentável de sistemas aquapônicos em áreas remotas, sem acesso à rede elétrica convencional, os sistemas fotovoltaicos off-grid representam uma opção viável, garantindo a autonomia e a confiabilidade do sistema aquapônico (Baiyin et al., 2020).

2.1 Estudo de Caso

O estudo de caso proposto neste projeto será conduzido na aldeia indígena de Nova Esperança, localizada em Aracruz, no estado do Espírito Santo (Brasil), que se caracteriza por ser uma comunidade Tupi-Guarani que, recentemente, passou por um processo de realocação de território, conforme pode ser visualizado na Figura 3.



Figura 3. Em (a), a localização geográfica da aldeia, próximo ao litoral; em (b) a área demarcada do território da Aldeia Nova Esperança; em (c) fotografia aérea do local com a disposição e estrutura da aldeia. Fonte: adaptado de Google LLC, 2024.

Anteriormente, a região ocupada pela aldeia era uma fazenda dedicada à monocultura de eucalipto, uma prática amplamente adotada na região central do Espírito Santo (Gati, B.; Pecine, L. (2024). Essa atividade, tão comum desde a década de 60 do século passado, contribuiu significativamente para o desmatamento da Mata Atlântica nativa que originalmente pertencia ao território dos indígenas e, conseqüentemente, ao empobrecimento natural do solo, como ilustrado na Figura 4.



Figura 4. Em (a) edificação principal da comunidade; em (b) habitação de madeira em estado precário, utilizada como residência pelos membros da comunidade. Fonte: os autores, 2024.

A expansão dos eucaliptais resultou em uma exaustão nutricional do solo, tornando-o menos propício para o plantio de alimentos destinados ao consumo local e à agricultura familiar. A comunidade de Nova Esperança, agora realocada após o crescimento das plantações de eucalipto, enfrenta uma séria situação de insegurança alimentar devido às

condições adversas do solo e às consequências ambientais do desmatamento. Assim, ações nas comunidades realocadas são preponderantes para a continuidade desse povo observando-se que a preservação da cultura indígena é importante não apenas pela diversidade cultural, mas, também, pela conservação do conhecimento tradicional sobre os ecossistemas locais e pelo fortalecimento das comunidades, contribuindo assim para a sustentabilidade ambiental e social (Melo & Martins, 2022).

3 Metodologia

A metodologia adotada para o desenvolvimento do projeto incorpora uma pesquisa avançada do próprio grupo de estudos, especificamente em energia solar fotovoltaica, integrando feedbacks de testes práticos e implementando melhorias contínuas nos componentes do sistema.

No contexto da aquaponia, a metodologia se caracteriza por ser experimental, buscando otimizar a eficiência do sistema através da seleção estratégica de peixes adaptáveis ao ambiente; à análise dos excrementos produzidos por esses peixes; e ao monitoramento da efetiva adaptação das condições do tanque para garantir a produção ideal de nutrientes. A Figura 5 apresenta o esquema básico dos procedimentos previstos.



Figura 5. Fases do projeto. Fonte: os autores, 2024.

A energia que alimentará esse sistema será proveniente de uma "árvore solar", instalada para gerar energia renovável por meio de painéis fotovoltaicos, seguindo os conceitos de Fibonacci (Silva et al., 2024). Essa série numérica, reconhecida por seus padrões harmônicos, visa aumentar a eficiência energética por meio da disposição dos painéis fotovoltaicos na árvore solar, destacando-se que esse projeto já se encontra em fase avançada de desenvolvimento tecnológico (Strauss et al., 2020; Vyas et al., 2022). Essa estrutura representa uma fonte sustentável de energia e alimentará os sistemas integrados de produção de alimentos.

Embora a energia solar seja uma tecnologia conhecida, a integração de uma estrutura de produção de energia em um sistema agrícola, com foco na sustentabilidade de uma comunidade específica, representa um avanço incremental neste campo, se considerada a modalidade proposta. Observa-se que a fonte de energia renovável proposta será utilizada para alimentar todo o sistema, garantindo autonomia energética para as

operações de aquaponia, hidroponia e irrigação da horta convencional, conforme pode ser visualizado no esquema da Figura 6.

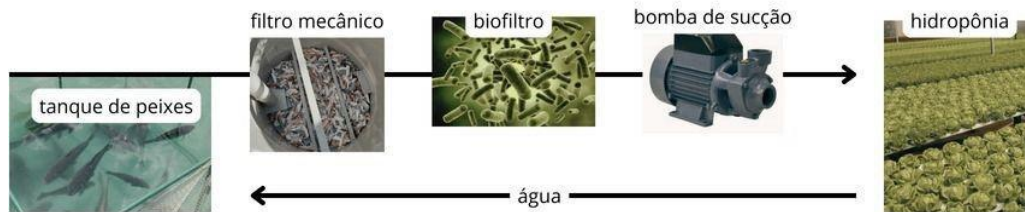


Figura 6. Ciclo aquapônico básico. Fonte: adaptado de Goddek et al. (2015).

A energia será produzida pela denominada “árvore solar”, ilustrada na Figura 7, que além de se caracterizar por ser limpa e renovável, também possibilita reduzir ou eliminar a dependência da eletricidade convencional. Por sua vez, o cultivo hidropônico oferece a vantagem de ser independente das condições do solo, permitindo a produção de alimentos em áreas onde o solo pode ser impróprio para a agricultura tradicional. Essa independência das condições do solo é especialmente relevante em comunidades que foram realocadas ou enfrentam limitações geográficas e ambientais.

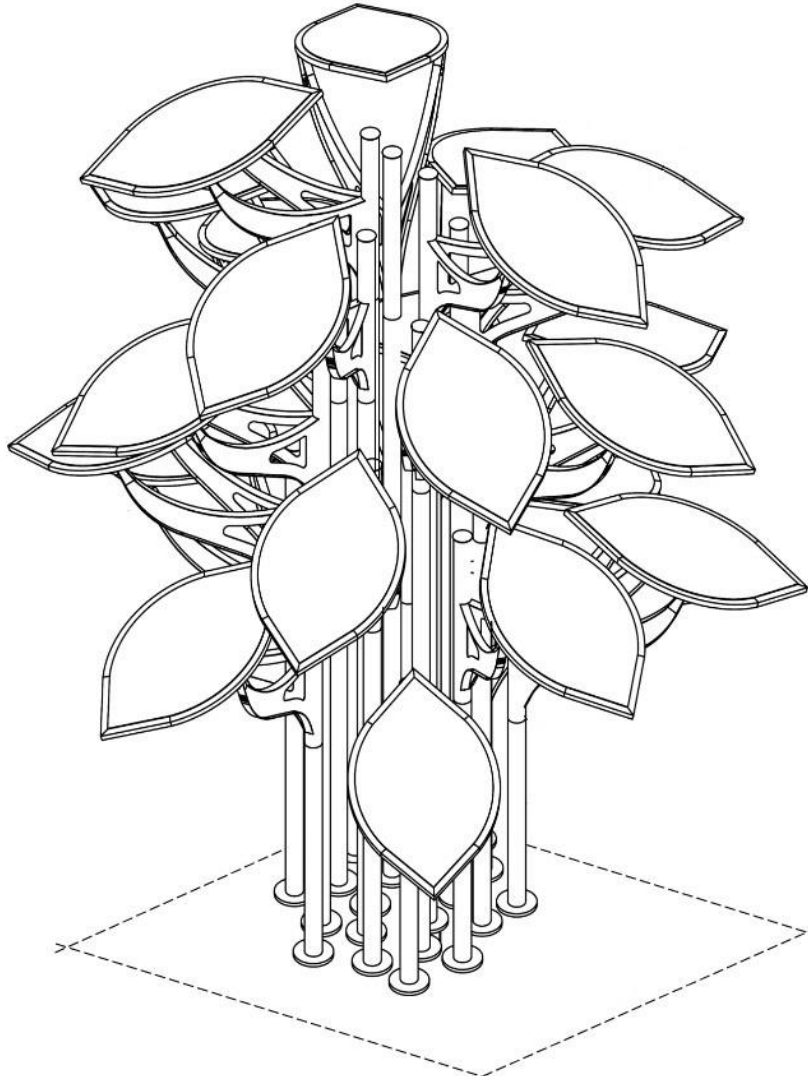


Figura 7. Árvore solar, composta por folhas com painéis fotovoltaicos e sistema de baterias, para o armazenamento da energia excedente gerada nas situações em que o sistema não possa ser integrado à rede convencional. Fonte: Segatto et al., 2023.

Observa-se que as plantas em sistemas de aquaponia crescem mais rapidamente do que as cultivadas no solo, devido à disponibilidade contínua de nutrientes provenientes do metabolismo dos peixes; ao ambiente controlado; à oxigenação constante da água que promove maior absorção de nutrientes; e à ausência de competição por espaço e problemas relacionados ao solo. Esses fatores combinados estimulam um crescimento mais rápido e saudável das plantas cultivadas nesse sistema (David et al., 2022; Elia et al., 2015; Goddek et al., 2015; Oladimeji et al., 2020).

A fase de integração dos sistemas segue uma metodologia específica, estabelecida considerando a necessidade de uma operação competente entre a árvore solar, a aquaponia e a hidroponia. Isso envolve a definição de interfaces eficientes, realização de testes de interoperabilidade e ajustes iterativos para garantir a sincronia ideal entre os componentes, podendo incluir a implementação de sensores para monitoramento dos sistemas. A adaptação ao ambiente local da aplicação será orientada por estudos específicos, considerando análises climáticas, disponibilidade de recursos e características do solo.

A capacitação da comunidade será conduzida por métodos participativos – fundamental para o sucesso do experimento –, orientando os membros da comunidade local para a operação e manutenção autônoma dos sistemas, de acordo com o proposto no ODS 04 – Educação de Qualidade –, o qual prevê e incentiva iniciativas educacionais garantindo a permanência das tecnologias nos diferentes contextos.

4 Resultados Esperados

Os resultados esperados com a implementação do projeto são amplos e concentram-se, principalmente, na melhoria da segurança alimentar em comunidades vulneráveis. O abastecimento constante de alimentos por meio da integração do fornecimento de energia fotovoltaica renovável, do sistema aquapônico e do cultivo hidropônico visa proporcionar impactos significativos a essas comunidades, cujos resultados podem ser replicados em situações semelhantes. A Figura 8 apresenta o esquema básico do sistema que se pretende instalar na comunidade, descrito nas seções anteriores.

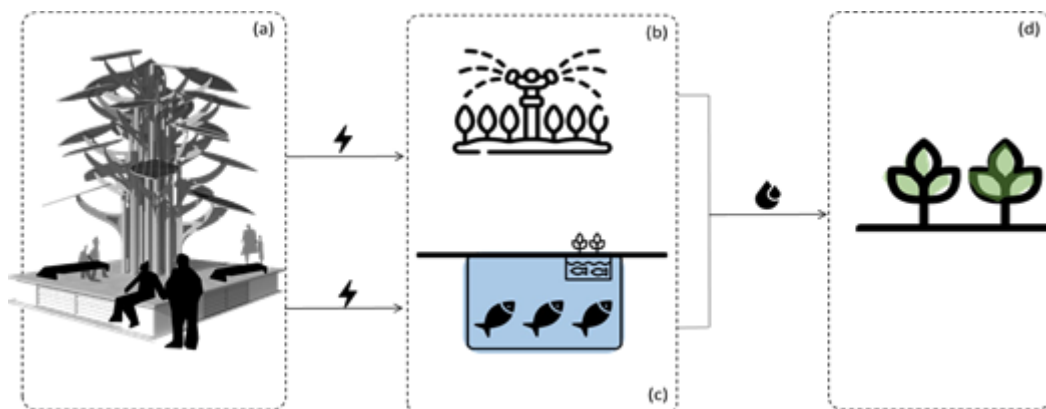


Figura 8. Proposta esquemática de sistema fotovoltaico de alimentação energética *offgrid* (a) para bombeamento de água de poço (b) para alimentação do tanque de peixes (c) e encaminhamento da água com nutrientes para a hidroponia e horta convencional (d). Fonte: os autores, 2024.

Em termos de segurança alimentar, a presença de uma fonte estável de proteínas provenientes dos peixes criados no sistema aquapônico é um dos resultados mais significativos. Essa fonte nutritiva contribuirá para a diversificação da dieta, oferecendo uma proteína de alta qualidade que é de grande importância para o desenvolvimento físico e cognitivo, especialmente em crianças (Anjos et al., 2013; Suryawan et al., 2022).

O acesso a nutrientes como a proteína é de grande importância para o desenvolvimento saudável das crianças, especialmente durante a primeira infância. O aporte proteico adequado é fundamental para construir e reparar tecidos, fortalecer o sistema imunológico e garantir o desenvolvimento adequado do cérebro. Durante a infância, quando o corpo está se desenvolvendo rapidamente, uma ingestão adequada de proteínas é vital para um crescimento e desenvolvimento saudáveis, tanto física quanto cognitivas. O desequilíbrio no aporte de proteínas na dieta pode levar a problemas de desenvolvimento físico, imunológico e cognitivo, afetando o desempenho acadêmico e na qualidade de vida das crianças (Molina et al., 2009).

Diante do exposto, considera-se fundamental assegurar o acesso a fontes confiáveis de proteína, como aquelas derivadas do sistema aquapônico, a fim de promover a segurança alimentar e o bem-estar das crianças durante o período de crescimento. Essa garantia não apenas contribui para suprir as necessidades nutricionais fundamentais, mas também desempenha um papel essencial na mitigação de potenciais deficiências alimentares que possam comprometer o desenvolvimento físico, cognitivo e imunológico das crianças.

A adoção da hidroponia sustentável pode trazer benefícios adicionais, destacando-se a economia significativa de água em comparação com os métodos tradicionais de agricultura. Isso ocorre porque a irrigação da horta convencional será feita com a água enriquecida em nutrientes provenientes do sistema aquapônico. Dessa forma, além de fornecer os nutrientes necessários para o crescimento das plantas, a água utilizada é reaproveitada de forma eficiente, minimizando o desperdício e reduzindo a demanda por recursos hídricos. Essa prática não apenas contribui para a conservação dos recursos naturais, mas também promove a eficiência no uso da água, tornando-se uma opção viável e ambientalmente amigável para a produção de alimentos em regiões onde a escassez de água é uma preocupação crescente.

A implementação da hidroponia está alinhada com duas das Metas de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidas pela Organização das Nações Unidas (ONU): a ODS 6 - Água Potável e Saneamento, que busca assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos, e ao reduzir o consumo de água na agricultura, a hidroponia contribui diretamente para alcançar essa meta, promovendo o uso eficiente e sustentável dos recursos hídricos; e a ODS 15 - Vida Terrestre, que visa proteger, restaurar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação e deter e reverter a degradação da terra, e a adoção da hidroponia ajuda a preservar a biodiversidade e os ecossistemas terrestres ao reduzir a pressão sobre os recursos naturais, como a água e o solo, enquanto oferece uma alternativa agrícola que é menos prejudicial ao meio ambiente.

A implementação do projeto em uma comunidade indígena pode acarretar uma série de impactos sociais e culturais significativos. Primeiramente, é importante considerar o papel central que a agricultura tradicional desempenha na identidade e na cultura indígena. A introdução de práticas agrícolas modernas, como a hidroponia, pode desafiar e, em alguns casos, modificar os conhecimentos e as técnicas agrícolas tradicionais transmitidos de geração em geração. Isso pode gerar tensões dentro da comunidade e até mesmo uma perda de conexão com as tradições ancestrais. Além disso, a implementação do projeto pode influenciar as estruturas sociais existentes, afetando os papéis e as responsabilidades dos membros da comunidade, especialmente se houver uma mudança na divisão do trabalho agrícola. Portanto, é esperado que a implementação do projeto leve

em consideração os valores culturais, os conhecimentos tradicionais e as necessidades específicas da comunidade indígena, garantindo que ela participe ativamente do processo decisório e que seus interesses sejam respeitados e preservados.

Os resultados esperados incluem, portanto, um aumento da autossuficiência alimentar nessas comunidades, reduzindo a dependência de fontes externas e fortalecendo a resiliência contra a insegurança alimentar. A abordagem sustentável do projeto promove a segurança alimentar imediata e estabelece as bases para práticas agrícolas resilientes, capazes de enfrentar desafios futuros.

Ao atuar como um modelo de projeto sustentável, esses resultados podem ser adotados em outras comunidades que possibilitem soluções similares, contribuindo para uma abordagem mais ampla e replicável na promoção da segurança alimentar em diversas regiões vulneráveis. A disseminação dessas práticas sustentáveis não só amplia o alcance dos benefícios proporcionados pelo projeto inicial, mas também fortalece a resiliência das comunidades frente a desafios futuros relacionados à segurança alimentar e ambiental. Essa abordagem de compartilhamento de conhecimento e experiências bem-sucedidas promove a cooperação entre comunidades e também cria uma rede de apoio que pode ser fundamental para enfrentar desafios globais de segurança alimentar e sustentabilidade ambiental.

5 Conclusão

O projeto estabelece uma abordagem apoiada no conceito de sustentabilidade para a produção de alimentos em comunidades, incorporando sistemas fotovoltaicos, aquapônicos e hidropônicos, bem como ações participativas junto às comunidades envolvidas. Essas medidas buscam atender às necessidades alimentares imediatas da comunidade e representam uma estratégia de longo prazo para superar desafios decorrentes da degradação ambiental.

Além disso, ao envolver ativamente a comunidade local no processo, o projeto fortalece os laços sociais e a coesão comunitária, capacitando os residentes a se tornarem agentes de mudança em sua própria comunidade. Esse envolvimento direto proporciona o aumento do senso de responsabilidade local, e auxilia na promoção da autonomia e do empoderamento das pessoas envolvidas. Ao participarem ativamente das decisões e da implementação das práticas, os membros da comunidade desenvolvem habilidades e conhecimentos que lhes permitem enfrentar desafios futuros de forma mais eficaz e resiliente. Essa abordagem participativa e inclusiva tende a ter resultados duradouros a longo prazo do projeto, criando um legado de capacitação e desenvolvimento comunitário. A abordagem proposta, com a integração dessas práticas propostas, pode servir como um modelo replicável em contextos semelhantes, proporcionando segurança alimentar e melhorando as condições socioeconômicas e ambientais em diversas comunidades. O projeto busca ser um catalisador para a transformação positiva, promovendo a sustentabilidade e o bem-estar em áreas que enfrentam situações de vulnerabilidade alimentar.

Por fim, a abordagem adotada pelo projeto demonstra como a resiliência e a sustentabilidade são fatores-chave na busca por soluções baseadas na natureza e em novas tecnologias sustentáveis. Ao priorizar a segurança alimentar e o acesso a alimentos

saudáveis nas comunidades locais, o projeto está alinhado com o objetivo maior de promover a resiliência socioeconômica e ambiental. Ao oferecer soluções práticas e inovadoras para desafios contemporâneos, como a escassez de recursos naturais e a mudança climática, o projeto exemplifica como a integração de tecnologias sustentáveis pode contribuir para a construção de parques e distritos mais resilientes e sustentáveis. Essa abordagem holística e interdisciplinar, centrada na natureza e na inovação tecnológica, representa uma etapa significativa rumo a um futuro mais sustentável e equitativo.

6 Referências

Alam, M. N. H. Z., Kamaruddin, M. J., Adzila, S., Nordin, N., & Othman, R. (2022). Solar-powered aquaponics prototype as sustainable approach for food production. *Materials Today: Proceedings*, 65, 2953–2959. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.530>

Anjos, F. S. dos, Caldas, N. V., & Becker, C. (2013). Segurança alimentar e desenvolvimento sustentável: entre mitos e realidades.

Aranha, A. V. (2010). Fome Zero: Uma história brasileira. In A. Fome & Zero (Eds.), *Fome Zero: Uma história brasileira* (Vol. 1). Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome.

Baiyin, B., Tagawa, K., & Gutierrez, J. (2020). Techno-economic feasibility analysis of a stand-alone photovoltaic system for combined aquaponics on drylands. *Sustainability (Switzerland)*, 12(22), 1–20. <https://doi.org/10.3390/su12229556>

David, L. H., Pinho, S. M., Agostinho, F., Costa, J. I., Portella, M. C., Keesman, K. J., & Garcia, F. (2022). Sustainability of urban aquaponics farms: An emergy point of view. *Journal of Cleaner Production*, 331(November 2021). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129896>

Elia, E., Hodosan, C., Nistor, L., Dumitrache, F., & Udriou, N.-A. (2015). 4. System Cycling Stage on Aquaponic Systems As Required Prerequisite for Soilless Agriculture. *Scientific Papers-Series D-Animal Science*, 58(June), 381–384.

Gati, B.; Pecine, L. (2024, 03 de maio). Terra sem mal: povo Guarani constrói nova aldeia em Aracruz. *Sindibancários do Estado do Espírito Santo*. <https://www.bancarios-es.org.br/terra-sem-mal-povo-guarani-constroi-nova-aldeia-em-aracruz/>

Goddek, S., Delaide, B., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K. V., Jijakli, H., & Thorarinsdottir, R. (2015). Challenges of sustainable and commercial aquaponics. *Sustainability (Switzerland)*, 7(4), 4199–4224. <https://doi.org/10.3390/su7044199>

Google LLC. (2024). Centro Aldeia Nova Esperança. Google Maps. https://www.google.com/maps/place/Centro+Aldeia+Nova+Esperança/@-19.8838841,-40.1437132,14z/data=!4m6!3m5!1s0xb7e996096010e7:0x3011c41fb3d44ae3!8m2!3d-19.8857414!4d-40.1478095!16s%2Fg%2F11rm_98r2d?entry=ttu

Mariyappillai, A., Arumugam, G., & Raghavendran, V. B. (2020). The Techniques of Hydroponic System. *Acta Scientific Agriculture*, 4(7), 79–84. <https://doi.org/10.31080/asag.2020.04.0858>

Maucieri, C., Nicoletto, C., Junge, R., Schmutz, Z., Sambo, P., & Borin, M. (2018). Hydroponic systems and water management in aquaponics: A review. *Italian Journal of Agronomy*, 13(1), 1–11. <https://doi.org/10.4081/ija.2017.1012>

Melo, R. A. V. de, & Martins, R. V. (2022). A Relação Horizontal Entre Direitos Humanos, o Meio Ambiente e a Sustentabilidade. Uma Necessária Sintonia com a Cultura Indígena (Humanista e Ambiental). *Revista Do Instituto Brasileiro de Direitos Humanos*, 21, 221–230.

Molina, G., Pelissari, F. M., & Feirhmann, A. C. (2009). Consequências da desnutrição protéica para o trato gastrointestinal. *Arquivos Do MUDI*, 13, 12–24.

Oladimeji, S. A., Okomoda, V. T., Olufeagba, S. O., Solomon, S. G., Abol-Munafi, A. B., Alabi, K. I., Ikhwanuddin, M., Martins, C. O., Umaru, J., & Hassan, A. (2020). Aquaponics production of catfish and pumpkin: Comparison with conventional production systems. *Food Science and Nutrition*, 8(5), 2307–2315. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1512>

Rakocy, J. E., Shultz, R. C., Bailey, D. S., & Thoman, E. S. (2004). Aquaponic production of tilapia and basil: Comparing a batch and staggered cropping system. *Acta Horticulturae*, 648, 63–69. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.648.8>

Receputi, A. L. M., Laranja Monteiro, L., Bonadiman, N. N., Louzada, B. C., & Dias, L. C. (2022). *Desenvolvimento Regional Sustentável - Plano de Ação*.

Rogério, M., Marinho, S., Bruno, A. P., Schuler, D., Almir, C., De, M., Júnior, S., Przeybilovicz, E., Cunha De Lacerda, H., & Cavalheiro Da Costa, L. (2021). *Carta Brasileira Cidades Inteligentes*. www.projetotradus.org.br

Holanda, S. M. S., Bruno, A. P., Schuler, D., Almir, C., De, M., Júnior, S., Przeybilovicz, E., Cunha De Lacerda, H., Emny, R., Tâmara, L., De, N., & Gomes, O. (2021). *Brazilian Charter for Smart Cities: Short version*.

Segatto, M. E. V., Alvarez, C. E. De, Marins, D. P. A., Palaoro, L. B., & Fraga, A. A. (2023). Pedido nacional de Invento, Modelo de Utilidade, Certificado de Adição de Invento e entrada na fase nacional do PCT (Patent No. BR 10 2023 018997 0). Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI).

Silva, G. C., Freitas, S. de, & Thereza Marinho. (2024). Pesquisadores da Ufes projetam árvore solar para a produção de energia sustentável. *Ufes.Br*. <https://www.ufes.br/conteudo/pesquisadores-da-ufes-projetam-arvore-solar-para-producao-de-energia-sustentavel>

Silva, L. C. B., Lopes, B., Pontes, M. J., Blanquet, I., Segatto, M. E. V., & Marques, C. (2021). Fast decision-making tool for monitoring recirculation aquaculture systems based on a multivariate statistical analysis. *Aquaculture*, 530(September 2020), 735931. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735931>

Strauss, S., Lempe, J., Prusinkiewicz, P., Tsiantis, M., & Smith, R. S. (2020). Phyllotaxis: is the golden angle optimal for light capture? *New Phytologist*, 225(1), 499–510. <https://doi.org/10.1111/nph.16040>

Suryawan, A., Jalaludin, M. Y., Poh, B. K., Sanusi, R., Tan, V. M. H., Geurts, J. M., & Muhandi, L. (2022). Malnutrition in early life and its neurodevelopmental and cognitive consequences: a scoping review. *Nutrition Research Reviews*, 35(1), 136–149. <https://doi.org/10.1017/S0954422421000159>

United Nations. (2015). TRANSFORMING OUR WORLD: THE 2030 AGENDA FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT.

Vyas, M., Chowdhury, S., Verma, A., & Jain, V. K. (2022). Solar Photovoltaic Tree: Urban PV power plants to increase power to land occupancy ratio. *Renewable Energy*, 190, 283–293. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.03.129>