

MODELAGEM AMBIENTAL E TECNOLOGIAS SOCIAIS: UM ESTUDO SOBRE REAPROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA PARA COMUNIDADES RURAIS DE AGRICULTURA FAMILIAR NA AMAZÔNIA

ENVIRONMENTAL MODELING AND SOCIAL TECHNOLOGIES: A STUDY ON RAINWATER REUSE FOR RURAL FAMILY FARMING COMMUNITIES IN THE AMAZON

Ana Paula Bragança Silva¹
Luanda Sabrina Rodrigues Rosa²
Rafael do Nascimento Pires³
Wanessa dos Santos Menezes⁴
Manoel José dos Santos Sena⁵
Luanna Costa Dias⁶
Lindemberg Lima Fernandes⁷

Área Temática 07: Tecnologias Sociais, Tecnologia Educacionais e Assistivas e Tecnologia da Informação.

Resumo

O acesso à água potável ainda representa um dos principais desafios enfrentados pelas comunidades rurais amazônicas, especialmente em contextos de agricultura familiar. Neste cenário, o presente estudo teve como objetivo avaliar a viabilidade da implantação de um sistema de captação e reaproveitamento de água da chuva no Assentamento Abril Vermelho, localizado no município de Santa Bárbara do Pará. A pesquisa foi estruturada em cinco etapas: revisão bibliográfica, coleta e tratamento de dados pluviométricos e cálculo do volume potencial de captação, levando-se em consideração a precipitação média mensal, a área do telhado, coeficiente de runoff e a sazonalidade mensal, modelagem tridimensional de uma residência utilizando o software Blender e análise da viabilidade técnica. Os dados de precipitação, obtidos na plataforma Hidroweb, abrangem uma série histórica de 52 anos (1973–2024), considerando as médias mensais específicas de cada mês. Os cálculos indicaram que os volumes mensais de captação variam de 4,11 m³ (setembro) a 21,49 m³ (março), o que equivale a uma disponibilidade hídrica de aproximadamente 137 a 693 litros por dia aproximadamente. Esses valores reforçam o potencial significativo de suprimento de água para famílias da região, desde que haja planejamento adequado para armazenamento nos meses mais secos. A proposta mostrou-se

¹ UFPA; paulabraganca1245@gmail.com

² UFPA; luandasabrina2@gmail.com

³ UFPA; rafael.np29@gmail.com

⁴ UFPA; wanessamenezes1999@gmail.com

⁵ UFPA; manoel.sena@ufpa.br

⁶ UFPA; luanna.dias@sgb.gov.br

⁷ UFPA; linlimfer@gmail.com

tecnicamente viável, acessível e alinhada aos princípios das tecnologias sociais. A modelagem 3D contribuiu para a visualização prática da solução, reforçando a importância de abordagens que integrem saberes técnicos e contextos locais. Conclui-se que o reaproveitamento da água da chuva representa uma estratégia eficaz, complementar e sustentável para a promoção da segurança hídrica e da autonomia das comunidades rurais amazônicas.

Palavras-Chave: Água da chuva, Tecnologias sociais, Comunidades rurais, Modelagem ambiental.

Abstract

Access to drinking water remains one of the main challenges faced by rural communities in the Amazon, especially in family farming contexts. In this scenario, the present study aimed to assess the feasibility of implementing a rainwater harvesting and reuse system in the Abril Vermelho Settlement, located in the municipality of Santa Bárbara do Pará. The research was structured in five stages: literature review, collection and processing of rainfall data, calculation of the potential collection volume, taking into account average monthly rainfall, roof area, runoff coefficient and monthly seasonality, three-dimensional modeling of a residence using Blender software, and technical feasibility analysis. The precipitation data, obtained from the Hidroweb platform, cover a 52-year historical series (1994–2024), considering the specific monthly averages for each month. The calculations indicated that monthly catchment volumes range from 5.91 m³ (August) to 21.34 m³ (March), which is equivalent to a water availability of approximately 191 to 711 liters per day. These values reinforce the significant potential for water supply to families in the region, provided there is adequate planning for storage in the driest months. The proposal proved to be technically feasible, accessible, and aligned with the principles of social technologies. The 3D modeling contributed to the practical visualization of the solution, reinforcing the importance of approaches that integrate technical knowledge and local contexts. It is concluded that rainwater reuse represents an effective, complimentary and sustainable strategy for promoting water security and autonomy in rural Amazonian communities.

Key words: Rainwater, Social technologies, Rural communities, Environmental modeling.

1. Introdução

A distinção entre rural e urbano é frequentemente estabelecida com base no tamanho populacional ou patamar demográfico. Nesse contexto, o urbano é caracterizado pela concentração de habitantes, enquanto o rural se define pela dispersão. No entanto, Bernardelli (2010, p. 34) adverte que essa classificação numérica representa uma “simplificação problemática da realidade”. Complementando essa visão, Kageyama (2008, p. 26) destaca que o conceito de ruralidade é multidimensional, englobando aspectos ocupacionais — centrados nas atividades agrícolas e extrativistas —, ecológicos — como a delimitação geográfica, a baixa densidade populacional e o isolamento dos centros urbanos —, e socioculturais, os quais apresentam as maiores controvérsias teóricas e empíricas.

Assim, o avanço constante das tecnologias tem marcado profundamente o desenvolvimento da humanidade. Segundo Papula et al. (2023), a tecnologia é considerada uma catalisadora para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), conforme previsto na Agenda 2030. Contudo, a ausência de uma abordagem mais ampla nas pesquisas — que contemple fatores como ambiente regulatório, confiança e segurança, qualificação educacional, diferenças culturais e infraestrutura tecnológica — tem limitado o entendimento sobre a adoção tecnológica em áreas rurais, focando apenas em aspectos comportamentais e dificultando, assim, a formulação de políticas eficazes em países em desenvolvimento.

Dentro desse contexto, as tecnologias sociais surgem como alternativas viáveis e adaptáveis às realidades locais. Estas podem ser definidas como produtos, técnicas ou métodos de baixo custo, de fácil reprodução e aplicação, que oferecem soluções voltadas à transformação social (DOMINGOS e RIBEIRO, 2015). Segundo Lobo et al. (2013), essas tecnologias ganham destaque por suas adaptações às necessidades de comunidades de baixa renda, promovendo a satisfação de necessidades humanas básicas e incentivando o potencial criativo de seus produtores e usuários. Considerando a vulnerabilidade socioeconômica de muitas comunidades rurais brasileiras, as tecnologias sociais se apresentam como uma área essencial para enfrentar os desafios cotidianos, especialmente no que tange ao saneamento básico.

De acordo com a Lei nº 11.445 (Brasil, 2007), o abastecimento de água é definido como “as atividades, infraestruturas e instalações necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e respectivos instrumentos de medição”. No entanto, a realidade brasileira ainda se distancia desse ideal legal. Dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD Contínua) de 2023 revelam que, enquanto 93,4% dos domicílios urbanos contavam com abastecimento por rede geral, apenas 32,3% dos domicílios rurais tinham acesso a essa mesma infraestrutura (IBGE, 2023).

Diante da limitação no acesso à água potável em comunidades rurais, o reaproveitamento da água da chuva se apresenta como uma solução viável e sustentável. A modelagem ambiental é uma ferramenta fundamental nesse processo, pois permite simular a disponibilidade hídrica, dimensionar adequadamente os sistemas de captação e orientar a tomada de decisões com base em dados técnicos. Segundo Batista et al. (2022), sistemas bem

planejados, considerando características climáticas e territoriais, podem suprir a demanda hídrica de famílias rurais no estado do Pará. Dessa forma, a modelagem contribui para a implementação eficiente de soluções que promovem o acesso à água de forma segura e autônoma.

Diversos métodos podem ser utilizados para o dimensionamento de reservatórios de aproveitamento da água da chuva, variando conforme os objetivos do sistema, as condições climáticas locais, a variabilidade da demanda e a complexidade desejada na modelagem. Cada abordagem apresenta vantagens e limitações específicas, sendo a escolha do método influenciada pelo grau de precisão necessário, disponibilidade de dados históricos e recursos computacionais. Entre os métodos mais utilizados estão o de Rippl, Azevedo Neto, o Método Prático Alemão, o Programa Computacional Netuno. A Tabela 1 apresenta-se um resumo comparativo desses métodos, destacando seus conceitos principais, fórmulas utilizadas, aplicações típicas e considerações práticas. Essa diversidade metodológica permite uma escolha mais adequada à realidade de cada projeto, reforçando a importância de se compreender as características de cada técnica (VIANA et al., 2020; TUCCI, 2004; GONÇALVES, 2014).

Tabela 1: Métodos de dimensionamento de reaproveitamento de água de chuva.

Método	Conceito	Fórmula/Técnica	Aplicações	Vantagens	Limitações	Referência
Rippl	Balanço hídrico cumulativo com dados históricos	$V = \max(\sum(\text{Entrada} - \text{Demanda}))$	Projetos com séries históricas longas	Simple e direto, bom para séries longas	Requer série temporal longa e contínua	TUCCI (2004)
Azevedo Neto	Fórmulas empíricas baseadas em probabilidade de atendimento	$V=0,042* P* A* T$	Projetos urbanos e públicos	Abordagem prática e adaptada à realidade brasileira	Menos preciso em condições climáticas variáveis	AZEVEDO NETO (1977)
Método Prático Alemão	Dimensionamento proporcional à área de captação	$V = A*P*C* 0,06$	Residências e edificações padrão	Muito utilizado e simples	Não considera variações de consumo e chuva	GONÇALVES (2014)
Programa Netuno	Simulação computacional com séries diárias ou horárias	Modelagem via software com balanço hídrico	Projetos complexos e precisos	Alta precisão e flexibilidade	Requer domínio técnico e base de dados confiável	UDESC/UFSC (2012)

Fonte: Autores, 2025.

Legenda:

V= Volume que poderia ser captado (m³)

A= Área de captação (m²)

P= Precipitação (mm)

C= Coeficiente de aproveitamento (adimensional)

T= Número de meses de pouca chuva ou seca

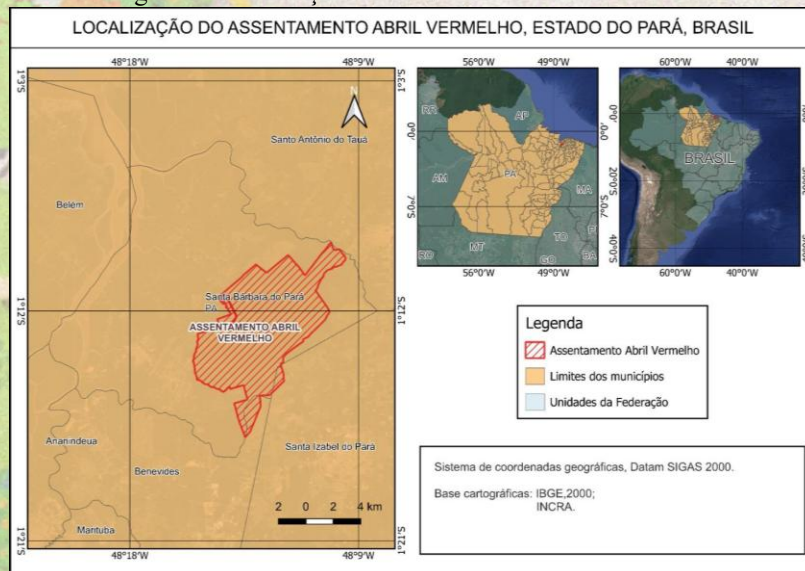
Portanto, adotou-se como objeto de estudo o assentamento Abril Vermelho, a fim de analisar a viabilidade de um sistema de reaproveitamento de água de chuva nessa localidade, levando em consideração a realidade de agricultura familiar da localidade e outras atividades

afins e, logo após, fazer a simulação do sistema de captação de água de chuva para estas localidades, através do software blender.

2. Metodologia

A área de estudo corresponde ao Assentamento Abril Vermelho, situado no município de Santa Bárbara do Pará. Segundo (MST,2025) o assentamento abriga cerca de 396 famílias em uma área de 6.668 hectares como indicado na Figura 1.

Figura 1: Localização do assentamento Abril Vermelho.



Fonte: Autores, 2025.

Como objeto da pesquisa, adotou-se o potencial reaproveitamento da água de chuva com modelagem 3d. Neste sentido, esta pesquisa foi realizada em cinco etapas:

- Revisão bibliográfica: consta como a pesquisa de artigos, periódicos, revistas entre outros que abordem o tema pesquisado a fim de fundamentar o tema a ser pesquisado. Nesta etapa foi utilizado como ferramenta de busca a plataforma digital *Google Academics*, *Periódicos Capes*, utilizando palavras chaves como: “reaproveitamento de água de chuva”, “precipitação”, “comunidade rural”, “modelagem 3d”.
- Coleta de dados: para esta pesquisa foram utilizados dados de precipitação do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) por meio da plataforma

digital Hidroweb que fornece o acesso ao banco de dados que reúne todas as informações coletadas pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN). Embora o município em que o Assentamento Abril vermelho se situe seja Santa Bárbara do Pará, não foi encontrada estação pluviométrica nessa localidade. Portanto, foram utilizados dados da estação “Castanhal”, situada no município de Castanhal, que fica próximo da localidade em estudo, cujo código de identificação é 00147007.

- Tratamento de dados: para os objetivos dessa pesquisa foram utilizados os dados de precipitação mensal em um período de cinquenta e dois anos (1973-2024). Após a definição do intervalo, foi realizado a média da precipitação mensal. Por fim, foi realizado o cálculo de precipitação média em 52 anos.
- Cálculo do potencial de volume da água pluvial na área do telhado: utilizou-se como base a metodologia adotado por Lima, *et al.* (2011), que considera o volume mensal consumido igual a precipitação mensal (mm), área do telhado (m²) e o coeficiente de *runoff* igual a 0,8 (20% de água da chuva é perdida na evaporação e pelo descarte para a limpeza do telhado), dividido por 1000 sendo o fator de conversão de unidade de litros para metros cúbicos, como mostra a Equação (1)

$$V_m = P * A * R / 1000 \quad (1)$$

onde:

V_m: volume mensal de chuva coletada (m³);

P: precipitação média mensal (mm/mês);

A: área do telhado (m²);

R: coeficiente de runoff, adotado para esta pesquisa 0,8;

1000: fator de conversão de litros para m³.

- Modelagem 3d: para realizar a modelagem 3d de uma residência hipotética do assentamento, foi utilizado o software de código aberto Blender.

3. Resultados/Discussões

Após a coleta e tratamento dos dados de precipitação do *Hidroweb*, totalizando 52 anos. Assim, foram organizadas as precipitações médias totais (em mm) no período de de 52 anos, Figura 2.

Figura 2: Precipitação média do município de Castanhal no período (1973-2024)

Fonte: Hidroweb, 2025.

Em relação a modelagem 3d, inicialmente foi feito um mapeamento utilizando o software *Google Earth Pro* no qual foi possível realizar uma média da área do telhado de 7 residências do Assentamento Abril Vermelho, obtendo o resultado de 4 metros de largura por 8 metros de comprimento em cada lado do telhado. Com as medidas definidas, iniciou-se o processo de modelagem 3d de uma residência fictícia, baseada em residências observadas no local, utilizando o software aberto *Blender* como indicado nas Figuras 3 a 5.

Figura 3: Vista frontal de uma residência modelada no Blender.



Fonte: Autores, 2025.

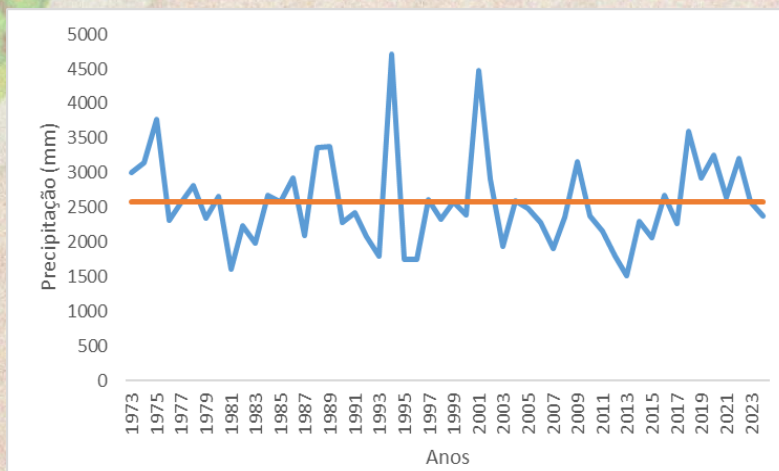
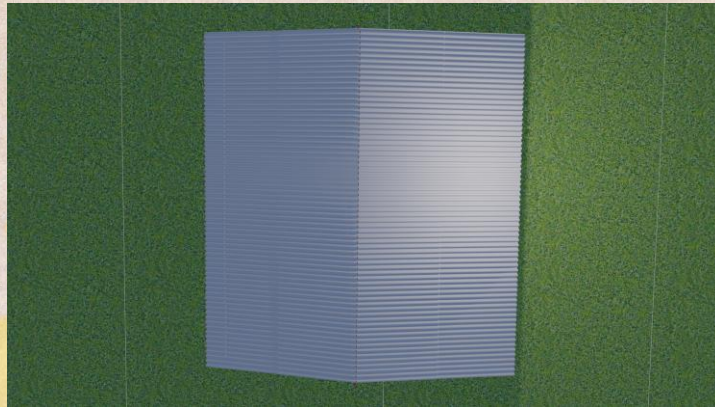


Figura 4: Vista superior de uma residência modelada no Blender.



Fonte: Autores, 2025.

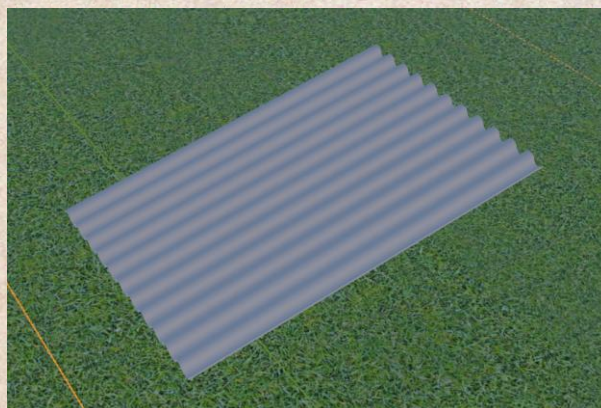
Figura 5: Vista em perspectiva de uma residência modelada no Blender.



Fonte: Autores, 2025.

Para esta modelagem, foi adotado telhas do tipo onduladas, muito utilizadas nas coberturas da área como mostrado na Figura 6.

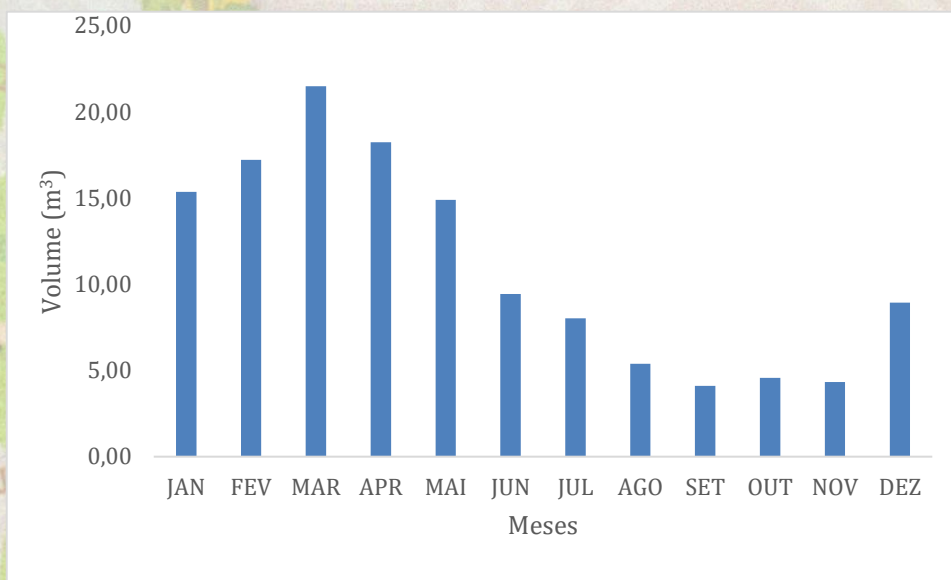
Figura 6: Telha tipo onduladas modelada no Blender.



Fonte: Autores, 2025

Com base nos dados de precipitação coletados e no modelo da residência, foi possível calcular o potencial de captação de água da chuva utilizando a metodologia aplicada por Lima et al. (2011). Adotando coeficiente de runoff 0,8, (considerando perdas por evaporação e descarte inicial), utilizando a precipitação média mensal ao longo dos 52 anos, e uma área média de telhado de 64 m² (4m x 8m para cada água, conforme modelagem 3D realizada), obteve-se os potenciais volumes mensais de água da chuva que poderiam ser aproveitados, apresentados na Figura 7.

Figura 7: Potencial do aproveitamento de água de chuva por mês.



Fonte: Autores, 2025.

A análise dos dados mostra que há uma sazonalidade na precipitação da região. Em que o primeiro semestre do ano (janeiro a junho) concentra os maiores volumes, com destaque para o mês de março (21,34 m³) e abril (20,26 m³) com maiores volumes de aproveitamento. Esses meses podem fornecer até 711 litros por dia, o que representa um abastecimento significativo para uma família rural.

Por outro lado, os meses de agosto, setembro e outubro registram os menores volumes, todos abaixo de 6m³, o que equivale a menos de 200 litros por dia. Essa variação reforça a necessidade de estratégias de armazenamento eficiente nos meses de maior precipitação, a fim de compensar a menor disponibilidade hídrica nos períodos menos chuvosos.

Dessa forma, a aplicação da metodologia aplicada por Lima et al. (2011) mostrou-se útil para estimativas gerais de volume, embora sua limitação quanto à variabilidade mensal da chuva evidencie a importância de considerar a sazonalidade no dimensionamento do sistema, isto é, o aproveitamento da água de chuva para esta área de telhado mais específica é recomendado como uma medida suplementar. Assim, recomenda-se, portanto, o uso de reservatórios com capacidade suficiente para armazenar o excedente dos meses chuvosos e garantir o suprimento durante os meses menos chuvosos e práticas de uso racional da água, especialmente nos meses com menor índice pluviométrico.

4. Considerações Finais ou Conclusão

A presente pesquisa demonstrou, com base em dados técnicos e modelagem computacional, que o reaproveitamento da água da chuva é uma solução viável e estratégica para comunidades rurais da Amazônia, como é o caso do Assentamento Abril Vermelho. A partir da análise da série histórica de dados pluviométricos e da aplicação da metodologia de Lima, foi possível estimar os volumes mensais de captação de água ao longo do ano, oscilando entre 5,91 m³ (em agosto) e 21,34 m³ (em março), correspondendo a uma disponibilidade diária de aproximadamente 191 a 711 litros.

Essa variação mensal evidencia a importância de se considerar a sazonalidade no planejamento dos sistemas de captação, especialmente para garantir o abastecimento contínuo durante os períodos de estiagem. Assim, recomenda-se o uso de reservatórios de maior capacidade, capazes de armazenar o excedente dos meses mais chuvosos para uso nos períodos mais secos.

Mais do que um exercício técnico, o estudo evidencia a importância das tecnologias sociais como instrumentos de transformação da realidade, especialmente em territórios historicamente marcados pela exclusão de políticas públicas de saneamento. A simplicidade da metodologia empregada, aliada à precisão do uso da modelagem 3D, demonstra que é possível elaborar soluções sustentáveis e acessíveis, desde que respeitadas as particularidades ambientais e culturais da região.

Como contribuição final, este trabalho oferece subsídios concretos para gestores públicos, movimentos sociais e organizações comunitárias que atuam na promoção da segurança hídrica em áreas rurais. Sugere-se, como continuidade, o desenvolvimento de análises econômicas sobre os custos de implementação e manutenção do sistema, bem como a replicação da metodologia em outros assentamentos amazônicos, promovendo, assim, uma abordagem sistêmica e inclusiva no enfrentamento da crise hídrica nas zonas rurais.

5. Referências Bibliográficas

Batista, L. M., Neu, V., & Meyer, L. F. F. (2022). Água de chuva: uma alternativa para comunidades rurais no estado do Pará. *Revista Tecnologia e Sociedade*, 18(54). <https://doi.org/10.3895/rts.v18n54.14779>

Domingos, B. S. M.; Ribeiro, R. B. Geração de renda informal e desenvolvimento econômico: tecnologias sociais como uma alternativa à precarização. *Quanta Comunicação e Cultura*, v. 1, n. 1, p. 78-83, 2015.

Galizoni, F. M. *Rural e ruralidades: reflexões para o Programa Nacional de Saneamento Rural*. In: BRASIL. FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. *Programa Nacional de Saneamento Rural PNSR: aspectos conceituais da ruralidade no Brasil e interfaces com o saneamento básico*. Brasília: Funasa, 2021. Disponível em: Repositório UFMG.

Gonçalves, R. F. *Aproveitamento da água da chuva: técnicas e dimensionamento de sistemas*. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

Kageyama, A. *Desenvolvimento rural: conceitos e aplicação ao caso brasileiro*. 1. ed. Porto Alegre: UFRGS Editora: PGDR, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural, UFRGS, 2008. 229 p. (Série Estudos rurais).

Lima, J.A. et al. Potencial da economia de água potável pelo uso de água pluvial: análise de 40 cidades da Amazônia. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, 16(3), 291-298, 2011.

Lobo, M. A. A.; Lima, D. M. B.; Souza, C. M. N.; Nascimento, W. A.; Araújo, L. C. C.; Santos, N. B. Avaliação econômica de tecnologias sociais aplicadas à promoção de saúde: abastecimento de água por sistema Sodis em comunidades ribeirinhas da Amazônia. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 18, n. 7, p. 2119-2127, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232013000700027>

Movimento Sem Terra (MS). Disponível em: <https://mst.org.br/2021/09/15/assentamento-do-mst-no-para-recupera-diversidade-de-bioma-amazonico/#:~:text=Hist%C3%B3rico%20de%20luta,de%206.668%20hectares%20de%20terra>. Acesso: Em 26/06/2025

Puppala, H.; Ahuja, J.; Tamvada, J. P.; Peddinti, P. R. T. New technology adoption in rural areas of emerging economies: The case of rainwater harvesting systems in India. *Technological Forecasting & Social Change*, [S.l.], v. 196, p. 122832, 2023.

Tucci, C. E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2004.

UDESC; UFSC. *Manual do Programa Netuno: simulação de reservatórios para aproveitamento de água da chuva*. Florianópolis: UDESC, 2012.

Viana, M. A. et al. *Sistemas de aproveitamento de água da chuva em edificações*. Brasília: UnB, 2020.

