

LUCIANO FEIJÃO XIMENES
MARIA SONIA LOPES DA SILVA
LUIZA TEIXEIRA DE LIMA BRITO
Editores Técnicos

**TECNOLOGIAS DE CONVIVÊNCIA
COM O SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Fortaleza-CE
2019

**Presidente:**

Romildo Carneiro Rolim

Diretores:

Antônio Rosendo Neto Júnior

Cláudio Luíz Freire Lima

José Max Araújo Bezerra

Lúcio Rodrigues Capelleto

Perpétuo Socorro Cajazeiras

Economista-Chefe:

Luiz Alberto Esteves

Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste – ETENE**Gerente de Ambiente:**

Tibério Rômulo Romão Bernardo

Célula de Estudos e Pesquisas Setoriais**Gerente Executivo:**

Luciano Feijão Ximenes

Comitê de Editoração - CEDIT

Tibério R. Romão Bernardo (Coordenador - Etene)

Evangelina L. A. Matos (Ambiente de Comunicação)

Homero O. Guedes (Ambiente de Marketing)

Yara Maria A. Freire (Universidade Cooperativa)

Coordenador da Série de Livros Avulsos

Francisco Diniz Bezerra

Coordenadora da Série Teses e Dissertações

Luciana Mota Tomé

Coordenador da Série Ciência e Tecnologia

Luciano Feijão Ximenes

Coordenador da Série BNB Setorial

Luciano Feijão Ximenes

Coordenador da Série Documentos do Etene

Maria Odete Alves

Apoio:**Célula de Gestão de Informações Econômicas****Gerente Executivo:**

Bruno Gabai

Equipe:

Gustavo Bezerra Carvalho - Diagramação

Hermano José Pinho - Revisão vernacular

José Wandemberg Rodrigues Almeida - Economista

Francisco Kaique F. Araújo - Bolsista de Nível Superior

Marcus V. A. Araújo - Bolsista de Nível Superior

Copyright©2009 Banco do Nordeste do Brasil S.A.

Depósito Legal junto à Biblioteca Nacional conforme a Lei nº 10.994, de 14 de dezembro de 2004

Todos os direitos reservados

De acordo com a Lei Nº 9.610, de 19 de Fevereiro de 1998, é proibida a reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte

O conteúdo dos capítulos é de inteira responsabilidade dos seus respectivos autores

Tecnologias de convivência com o semiárido brasileiro/ editores técnicos, Luciano Feijão Ximenes, Maria Sonia Lopes da Silva, Luiza Teixeira de Lima Brito. - Fortaleza, CE: Banco do Nordeste do Brasil, 2019. 1116 p. : il. color.; 15,0 cm x 21,0 cm - (Série BNB Ciência e Tecnologia)

ISBN: 978-85-68360-28-6

1. Semiárido. 2. Tecnologia. 3. Convivência. 4. Economia. 5. Social. I. Ximenes, Luciano Feijão. II. Silva, Maria Sonia Lopes da. III. Brito, Luiza Teixeira de Lima. IV. Título. V. Série

CDD 338.9813

Capítulo 2

Barragem subterrânea

Maria Sonia Lopes da Silva

Alexandre de Oliveira Lima

Márcia Moura Moreira

Gizelia Barbosa Ferreira

Antônio Gomes Barbosa

Roseli Freire de Melo

Manoel Batista de Oliveira Neto

1 INTRODUÇÃO

Em 2003, Barlow e Clarke (2003), com base em estudos realizados sobre o uso da água, estimaram que, em aproximadamente 20 anos, até 2/3 da população estaria vivendo com uma forte escassez de água. Passados apenas dez anos dessa estimativa, a Organização Meteorológica Mundial (WMO) divulgou, em 2014, em seu relatório “Declaração sobre o estado do Clima”, que o Nordeste brasileiro viveu em 2013 a pior seca dos últimos 50 anos.

O Brasil está incluído entre os países com maior reserva de água doce do mundo, porém, devido às suas dimensões geográficas e diversidade climática, algumas regiões sofrem problemas graves de escassez de água, como o Semiárido nordestino (BRASIL, 2004), demandando, conseqüentemente, uma política eficaz de gestão da água para essa região. Os avanços mais importantes, no que concerne às preocupações relativas à água, ocorreram,

especialmente, em termos de legislações específicas para o setor, como a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997), que contempla a elaboração do Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) (BRASIL, 2010), como instrumento de gestão, definido para fundamentar e orientar a implementação dessa política, e que tem como objetivo geral:

Estabelecer um pacto nacional para a definição de diretrizes e políticas públicas voltadas para a melhoria da oferta de água, em qualidade e quantidade, gerenciando as demandas e considerando a água um elemento estruturante para a implementação das políticas setoriais, sob a ótica do desenvolvimento sustentável e da inclusão social.

O Brasil abriga a maior região semiárida contínua do mundo, com área superior a um milhão de quilômetros quadrados – dos quais 50% está dentro do território do Nordeste e parte do Norte de Minas –, e uma das mais densamente habitadas. Porém, seu maior problema, segundo Barbosa (2008) não é a aridez do clima, nem a escassez de água, mas a ausência de uma representação política sintonizada com os legítimos anseios da população, ou seja:

A uma ação política articulada com as reais necessidades da população, que desate o nó histórico que construiu a insana concentração de terra, água, poder econômico e político na mão de poucas famílias, em contraste a população expropriada dos seus direitos mais elementares de cidadania.

A cada período de estiagem nessa região, milhares de pessoas não conseguem satisfazer suas necessidades de acesso à água e, conseqüentemente, aos alimentos básicos. Com os precários índices de qualidade de vida e a sazonalidade da produção, obtendo-se produtos apenas em um determinado período do ano, os agricultores familiares dessa região estão migrando para as grandes cidades ou para outras regiões, aumentando assim os problemas sociais. Como agravante, ainda deve-se mencionar as mudanças climáticas que vêm acarretando a diminuição cada vez mais da oferta de água nas áreas dependentes de chuva (IBGE, 2009).

Este cenário torna evidente a demanda por mais políticas públicas de apoio aos agricultores familiares das áreas dependentes de chuva, pois o que se tem feito ainda é muito pouco, considerando a dimensão do Semiárid-

do e o nível de carência que ainda se vê em muitas comunidades da região. Para Barbosa (2008), o uso criterioso da água, bem como a sua distribuição equitativa, seja em termos quantitativos como qualitativos, representa um grande desafio para os órgãos gestores dos recursos hídricos, de pesquisa e desenvolvimento e da sociedade civil.

Nesse sentido, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) vem, desde 1975, trabalhando com alternativas de captação de água de chuva para diferentes usos no meio rural do Semiárido brasileiro, de forma a tornar essas alternativas acessíveis às famílias agricultoras das áreas com escassez de chuvas, e assim, reduzir os efeitos das adversidades ambientais e socioeconômicas da região.

A sociedade civil também tem desempenhado papel fundamental no acesso e usos da água para a região. Desde 1999, por meio da Articulação Semiárido Brasileiro (ASA), vem atuando no desenvolvimento social, econômico, político e cultural do Semiárido brasileiro. A ASA é uma rede formada por mais de 4.000 organizações da sociedade civil que atuam na gestão e no desenvolvimento de políticas de convivência com a região semiárida (BARBOSA et al., 2014).

As universidades e as Organizações Estaduais de Pesquisa Agropecuária (Oepas) também têm tido participação efetiva no avanço da construção do conhecimento para o aproveitamento da água de chuva nas comunidades da região semiárida, fomentando ações de pesquisa e desenvolvimento que visam à sustentabilidade da agricultura familiar nessas áreas dependentes de chuvas.

Como resultado da atuação dos Governos Federais e Estaduais e da Sociedade Civil, atualmente existe um conjunto de tecnologias de captação de água de chuva que vem sendo utilizado em todo Semiárido brasileiro, por meio de programas de políticas públicas. Essas tecnologias visam ao maior aproveitamento da água de chuva, de forma a promover o uso eficiente e a manutenção da quantidade e qualidade dos recursos hídricos. Essas tecnologias possibilitam o acesso regular e permanente a alimentos de qualidade, em quantidade suficiente para nutrir e manter a saúde das famílias da região. Entre essas tecnologias, a barragem subterrânea (Figura 1) destaca-se como uma alternativa de captação de água de chuva que tem contribuído para o melhor convívio das famílias com o Semiárido (LIMA et al., 2018; ROCHA et al., 2007).

O presente capítulo tem como objetivo mostrar que as experiências com barragens subterrâneas estão proporcionando o redesenho do Semiárido

brasileiro por meio da universalização do acesso à água às famílias das áreas dependentes de chuva, desde que se levem em consideração os aspectos técnicos e sociais da tecnologia.

Espera-se contribuir com a construção horizontal do conhecimento coletivo no que diz respeito à tecnologia barragem subterrânea, com as mudanças nas comunidades que historicamente convivem com as adversidades do clima Semiárido, bem como subsidiar políticas públicas, voltadas para estimular a inclusão social e produtiva das famílias e dos agroecossistemas rurais da região.

Figura 1 – Barragem subterrânea, município de Afrânio/PE



Foto: acervo de Carlos Alberto Silva.

2 HISTÓRICO

2.1 No mundo

Segundo Hanson e Nilsson (1986), há registros do uso de barragens de fluxo de água subterrânea que remontam à época do Império Romano, na Sardenha, e às civilizações antigas do Norte da África. Desde o início do século XVIII, segundo Ponçano (1981), as barragens subterrâneas vêm sendo utilizadas principalmente no Norte e Sudeste da África, Índia, Israel e Irã.

Tigre (1949), em seu artigo sobre barragens subterrâneas, relata que os primeiros estudos desenvolvidos com o aproveitamento de águas subterrâneas foram desenvolvidos na Califórnia, na década de 1895. Ainda segundo Tigre (1949), desde a década de 1940, os agricultores a partir da vivência com os recursos naturais da região semiárida e da necessidade de sobreviver naquele ambiente, foram experimentando e adaptando alternativas que proporcionassem às suas famílias um melhor convívio com a adversidade do clima. Uma dessas alternativas foi barrar, com pedras ou argila, os leitos de rios e riachos da propriedade visando a conservar a água no solo por mais tempo.

Cirilo(2003), porém, afirma que trabalhos anteriores aos de Tigre (1949) já relatam o uso da irrigação em pomares e nas plantações de hortaliças a partir da água armazenada em barragem subterrânea, nas regiões agrícolas da Calábria e da Sicília, na Itália.

Uma das referências mais antigas (CONTI, 1938) trata da construção de uma barragem subterrânea no leito do rio Los Sauces, nas proximidades da cidade de La Rioja, na Argentina, com 96 m de comprimento e 6,20 m de altura. O canal drenante dessa barragem possui uma vazão de 450 L/s, com capacidade para irrigar 1.000 ha. Há ainda relatos da construção de barragens subterrâneas com vistas à exploração de uma agricultura de vazante, realizada por hidrogeólogos franceses no Saara (IPT, 1981).

2.2 No Brasil

As primeiras notícias de barragem subterrânea no Brasil se deram na Região Nordeste. Entretanto, há divergência quanto à época e o local onde se instalaram as primeiras unidades. Para Brito et al. (1989), há indícios na literatura que uma das primeiras barragens subterrâneas construídas foi

em 1887, numa propriedade particular no Estado do Rio Grande do Norte. Silva (1998), afirma, porém, que a primeira barragem subterrânea foi construída em 1919, na região semiárida da Paraíba, com exploração da cana-de-açúcar e arroz.

Já nos relatos de Silva e Rego Neto (1992), e Costa (1998), as primeiras barragens subterrâneas foram construídas na década de 1920, pelas famílias agricultoras da região do Seridó, RN, que utilizaram o barro batido como material impermeabilizante na parede e cultivaram espécies forrageiras em sistema de agricultura de vazante.

Apesar de todas essas experiências, somente a partir de 1935, a barragem subterrânea ganhou destaque no Nordeste brasileiro, por meio de ações da Inspetoria de Obras Contra as Secas (atualmente Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS), que tinha como um de seus objetivos a construção de algumas unidades em rios intermitentes, no Município de Mossoró, RN (IPT, 1981).

A divulgação internacional, entretanto, só veio em 1951, pela Unesco, por meio do “Projeto Maior para a Zona Árida”, documento que sintetizava técnicas de captação de água empregadas por vários países (BENVENUTO; POLLA, 1982).

Em 1959, a Unesco, em trabalho realizado sobre abastecimento hídrico, para o 1º Batalhão de Engenharia do Exército, no município de Carnaúba dos Dantas, RN, sinalizou a possibilidade de construção da primeira barragem subterrânea a partir de estudos efetuados com mais critérios técnicos, no entanto não se tem relato se de fato foi construída (COSTA et al., 2000). Em 1965, o então DNOCS, construiu sua primeira barragem subterrânea, na cidade de Tauá/CE, no depósito aluvial do rio Trici (IPT, 1981).

Em 1982, a Embrapa Semiárido, na época Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semiárido (CPATSA), iniciou estudos com barragem subterrânea, construindo na Estação Experimental de Manejo da Caatinga, em Petrolina, PE, três barragens subterrâneas sucessivas (BRITO et al., 1989).

Por volta de 1985/1986, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT) construiu barragens subterrâneas submersas para desenvolvimento de pesquisas sobre a qualidade da água armazenada no rio Palhano, na bacia do rio Jaguaribe, CE; e nos rios das Cobras e dos Quintos, na bacia do rio Seridó, RN (COSTA, 1998). Em 1986, a Minérios de Pernambuco S. A. construiu três barragens subterrâneas no Alto Sertão de Pernambuco, todavia, por se localizarem nas cabeceiras de pequenos riachos, com redu-

zidas áreas de captação, não chegaram a acumular água. Em 1988, a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) iniciou estudos em aluviões no sertão e agreste do estado, visando à construção de barragem subterrânea para produção, principalmente, de hortaliças (CIRILO, 2003).

Em 1989, a Embrapa publica o Boletim de Pesquisa sobre barragem subterrânea (BRITO et al., 1989), no qual se abordam as questões pertinentes aos parâmetros técnicos de sua construção, manejo e custos de implantação.

Em 1995, o Departamento Nacional de Pesquisas Minerais (DNPM) construiu na bacia do rio Pajeú, sete barragens subterrâneas com o objetivo de melhorar as vazões dos cacimbões existentes (SILVA, 2006). Em 1997, é publicado a apostila (COSTA, 1997) “Manual de Barragens Subterrâneas”, no qual, além das descrições sobre as condições necessárias para uma correta locação e construção, fornece elementos sobre a capacidade de acumulação e os custos de construção. Essa apostila, posteriormente, foi atualizada e publicada como capítulo (COSTA, 2004) de livro.

Uma das experiências bem-sucedidas com barragem subterrânea no Nordeste brasileiro foi a da Fazenda Pernambuco, no Município de São Mamede, no Seridó Ocidental/PB. Foram construídas, em 1987, três barragens subterrâneas com oito poços amazonas à sua montante, que asseguraram a irrigação de 44 ha de mangueiras para exportação, cujo destino era a Europa (COSTA et al. 2000). Atualmente, não se sabe a situação dessas barragens.

Em Minas Gerais, principalmente no Vale do Jequitinhonha, onde há uma forte presença da agricultura familiar, é registrado um número significativo de barragens subterrâneas construídas desde 2000, pelas Organizações Não Governamentais (ONGs) Cáritas Diocesana de Araçuaí e Visão Mundial, por meio do Projeto Água é Vida. Este programa constava de ações de Convivência com o Semiárido que primava pela melhoria da qualidade de vida das comunidades rurais, pela difusão de tecnologias apropriadas de captação e armazenamento de água de chuva (cisternas familiares, cisternas comunitárias, poços amazonas e barragens subterrâneas), além de trabalhar um processo contínuo e sistemático de capacitação, com o apoio de lideranças e famílias diretamente envolvidas. A partir de 2009, o Norte de Minas Gerais passou a integrar o Programa Uma terra e Duas Águas (P1+2), com 110 unidades barragens subterrâneas construídas até o momento. O P1+2, é um programa do Governo Federal que está sendo implantado em todo Semiárido brasileiro pela ASA, desde 2007. O 1 da expressão P1+2, significa terra para produção e o 2 corresponde a dois tipos

de água (primeira água – água potável para consumo humano e a segunda água - água para produção de alimentos).

Em 2002, na bacia hidrográfica do Rio Una, localizada nos municípios de Iguaba Grande e São Pedro da Aldeia, região dos Lagos, RJ, foram construídas quatro barragens subterrâneas, pela Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Rio de Janeiro (Emater, RJ), Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro (Pesagro) e a Secretaria Municipal de Agricultura, Pesca e Meio Ambiente de Iguaba Grande. As barragens subterrâneas foram construídas no âmbito do Projeto Águas da Terra, com recurso do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf), objetivando proporcionar alternativas para irrigação de lavouras em regiões onde ocorrem longos períodos de estiagem. Uma das barragens de Iguaba Grande foi tema de dissertação pela Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), avaliando o impacto da implantação na microbacia onde está inserida, bem como na produção agrícola da região (FREITAS, 2006).

Desde 2009, na microbacia Brejo da Piedade, em Quissamã, no Norte Fluminense, também no Rio de Janeiro, a barragem subterrânea vem proporcionando produção de leite, além de irrigar áreas de milho e cana de açúcar.

3 TIPOS DE BARRAGENS SUBTERRÂNEAS

A barragem subterrânea é definida como sendo uma técnica de armazenar água da chuva dentro do perfil do solo, com o objetivo de permitir ao agricultor a prática de uma agricultura de vazante e/ou subirrigação. Nos últimos anos, a técnica ficou amplamente conhecida, principalmente depois de se tornar uma das alternativas tecnológicas para programas do Governo Federal no Semiárido. Entretanto, o termo barragem subterrânea foi universalizado independentemente do ambiente a ser implantada e do método de construção utilizado, com isso acarretando alguns transtornos que têm gerado problemas estruturais com influência diretamente na capacidade de acumulação, na disponibilidade da água e na utilização da unidade implantada (LIMA, 2013).

Na tentativa de elucidar dúvidas no uso da terminologia “barragem subterrânea”, sem, no entanto, esgotar o assunto, o presente item trará algumas reflexões sobre os tipos de barragens que acumulam água dentro do solo.

Existem dois tipos de estrutura hidráulica que possuem a função de barrar fluxo de água, dentro do solo: a barragem subterrânea submersa e a barragem subterrânea submersível (SANTOS; FRAGIPANI, 1978; IPT, 1981; OLIVEIRA; LEITE, 1984; MONTEIRO, 1984; SILVA; REGO NETO, 1992). A escolha de uma ou de outra depende de uma série de fatores que será descrito adiante.

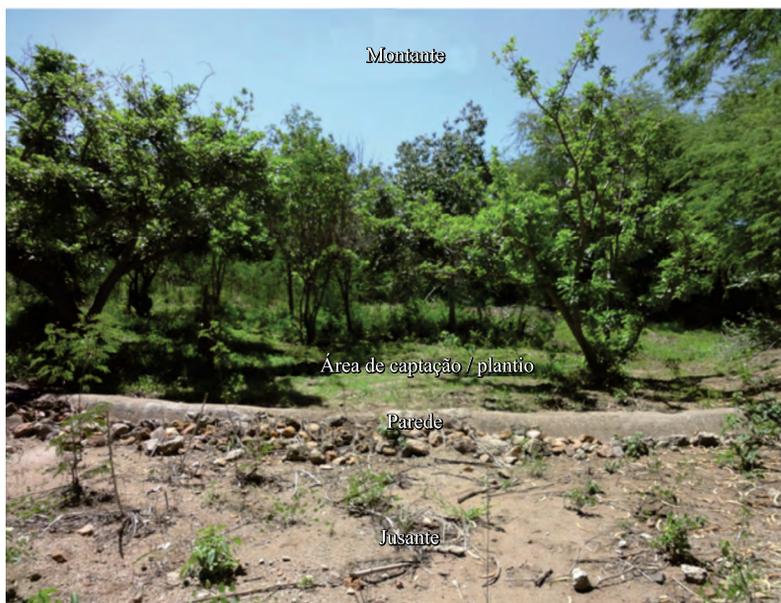
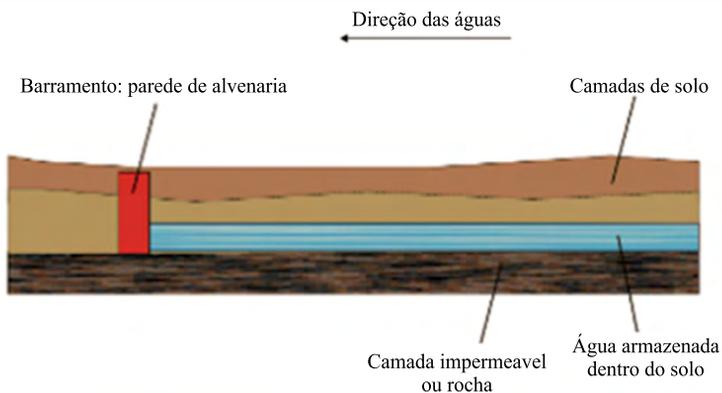
3.1 Barragem subterrânea submersa

É aquela que possui a parede totalmente dentro do perfil do solo (subsolo), barrando apenas o fluxo de água subterrâneo (Figura 2). Costa (2004) recomenda para esse tipo de barragem ambiente em cursos d'água intermitente, rios e riachos de grande vazão e uma razoável área de recarga a montante do local de construção, tendo consequentemente boa reserva hídrica.

A construção da parede pode ser de concreto ou alvenaria, sendo mais utilizado o plástico de polietileno de 2 micra. A limitação desse tipo de barragem é a necessidade da presença de aluviões mais profundos e de recargas subterrâneas suficientes para possibilitar o aproveitamento pleno da água. Segundo Costa (2004), há necessidade de solos com profundidade mínima de 1,5 m para que exista uma boa acumulação subterrânea.

Na Índia, foi constatado o uso desse tipo de barragem subterrânea nos rios Palar e Swarnamukhi (SENTHILKUMAR; ELANGO, 2011). No Japão, há registros de barragens subterrâneas submersas, tanto com o objetivo de utilização da água para irrigação quanto para contenção de intrusão salina (ISHIDAET al., 2003). No Semiárido da Turquia, também há relatos da utilização de barragem subterrânea submersa (APAYDIN, 2009). No Brasil, esse modelo, segundo Lima (2013), é muito utilizado pelas empresas de extensão rural do Rio Grande do Norte, Pernambuco e Ceará.

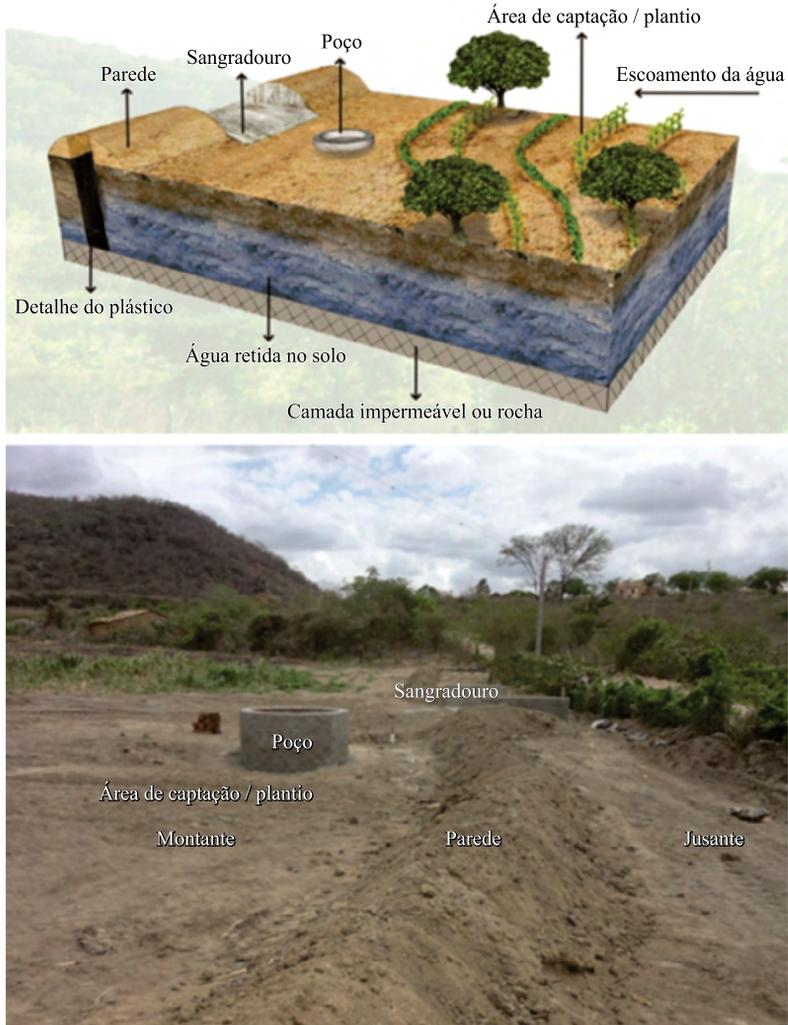
Figura 2 – Desenho esquemático do funcionamento de uma barragem subterrânea submersa (imagem superior). Barragem subterrânea submersa em área de agricultor (imagem inferior), município de Sertânia/PE



3.2 Barragem subterrânea submersível

É uma estrutura hidráulica formada por uma parede que parte da camada impermeável ou rocha até uma altura acima da superfície do terreno, objetivando barrar, além do fluxo de água subterrâneo, o superficial também, de tal forma que na época das chuvas se forme um pequeno lago temporário a montante (SILVA et al., 2011). Essa água acumulada vai se infiltrando lentamente, proporcionando um maior armazenamento dentro do solo e, conseqüentemente, uma maior disponibilidade de água para as culturas, por um período de tempo mais prolongado, após as chuvas (Figuras 3). A parede acima do solo possibilita com o tempo o acúmulo gradativo de sedimentos proporcionando maior capacidade de armazenamento de água. Esse tipo de barragem pode ser utilizado em leito de rio e riacho, de pequena a média vazão, e em linhas de drenagem (“caminhos d’água”).

Figura 3 – Desenho esquemático do funcionamento de uma barragem subterrânea submersível (imagem superior). Barragem subterrânea submersível em área de agricultor (imagem inferior), município de Pedra/PE



É uma tecnologia com a função de maximizar o armazenamento do escoamento superficial, bem como o tempo de permanência da água no solo (RAJU; REDDY; MUNIRATHNAM, 2006). A sua parede pode ser de alvenaria, concreto, argila compactada (barro batido) ou de plástico, sendo esse último o mais usado. A escolha do material depende do ambiente onde vai ser construída e da sua disponibilidade no local. Esse tipo de barragem é constituído por uma área de captação, que é a mesma de plantio; parede da barragem, conhecida também como septo impermeável; um sangradouro (vertedouro) que tem a função de escoar o excedente de água em anos de chuvas acima da média local e, quando possível, por um poço (Figura 3). Como se trata de uma tecnologia que retém água dentro do solo e construída na região semiárida, deve-se atentar para um manejo do solo, água e cultivos que previnam problemas futuros de ocorrência de salinização.

As barragens subterrâneas submersíveis são também uma das tecnologias que vêm sendo adotadas para captação e armazenamento da água da chuva na Índia, pelo governo e as organizações não governamentais. É também muito utilizada na Etiópia e Kenya (RAIN, 2008). No Brasil esse tipo de barragem vem sendo muito utilizado nas pequenas propriedades rurais de todo o Semiárido.

Em monitoramento (SILVA et al., 2005a; SILVA et al., 2005b) realizado pela Embrapa Solos UEP Recife, em alguns estados do Semiárido do Nordeste, foi detectado um número considerável de barragens subterrâneas submersíveis com parede de plástico, construídas em leito de rios de forte vazão, que foram destruídas pela força da água, em anos de chuvas acima da média. A escolha equivocada do tipo adequado a ser implantado em determinado ambiente traz como consequência desperdício do investimento aplicado e frustração na família, mesmo decorridos alguns anos após a sua construção. Nesse monitoramento, foi, também, detectado o rompimento de um número significativo de sangradouros em barragens subterrâneas, principalmente nas submersíveis em leito de rios e riachos. Nessas áreas, a maioria utilizava o sangradouro modelo Embrapa que é indicado para barragens em linhas de drenagem natural, como será visto adiante. Hoje, os sangradouros, na sua maioria, estão sendo construídos com estrutura de alvenaria/concreto.

Antes de se construir qualquer estrutura hídrica no Semiárido brasileiro é recomendado sempre se trabalhar levando-se em consideração a média de chuva da região e os anos atípicos, bem como o ambiente, o tipo e o modelo da estrutura que se pretende implantar. É determinante na implantação de

uma unidade produtiva de barragem subterrânea que se saiba o tipo a ser utilizado, se barragem subterrânea submersa ou submersível, e isso dependerá do local disponível, do ambiente (se em leito de rio ou linhas de drenagem), da vazão da água, do relevo/declividade e do tipo de solo e sua profundidade.

4 MODELOS DE BARRAGENS SUBTERRÂNEAS DESENVOLVIDAS NO BRASIL

A partir dos tipos de barragens subterrâneas foram desenvolvidos alguns modelos que se diferenciam pela introdução de algumas inovações.

4.1 Barragem subterrânea submersível modelo Embrapa

A Embrapa Semiárido foi a pioneira em pesquisas sobre barragens subterrâneas submersíveis, construindo em 1982, três unidades sucessivas (sequenciadas) em uma das suas estações experimentais (SILVA, 2006).

Nesses estudos foram testados a utilização do plástico de polietileno de 200 micras, como material impermeabilizante (até então eram utilizados o concreto e a argila compactada); a construção em linhas de drenagem natural ou caminhos d'água (até então eram utilizados os leitos de rios e riachos); e a utilização de sangradouro, construído com plástico, tela do tipo "pinteiro" e argamassa de cimento, brita e areia. Na pesquisa, foram também avaliados o uso e o manejo do solo e da água e cultivos de feijão, milho e sorgo na área de plantio/captação. Esse modelo (Figura 4) ficou conhecido como Modelo Embrapa e foi desenvolvido objetivando primordialmente aumentar a oferta do acesso ao uso da água em áreas de agricultura familiar, diminuindo os custos de construção pelo uso do plástico, em vez de concreto, e por ampliar as áreas aptas para construção.

A barragem subterrânea submersível modelo Embrapa proporciona o armazenamento da água da chuva dentro do perfil do solo com formação e/ou elevação do lençol freático, proporcionando a exploração de uma agricultura de vazante (SILVA, 2006; SILVA et al., 2007a; BRITO et al., 2015). Segundo Lima et al. (2013), uma vantagem desse modelo é a possibilidade de ampliação das áreas de construção de barragens no Semiárido, já que este tipo de barragem subterrânea submersível pode ser construído fora de área aluvional, em locais com solos de textura média. Ainda de acordo com esse

autor, “é nessa realidade, que essa metodologia funciona a partir da interrupção do escoamento superficial em pequenas áreas de captação e posterior infiltração, gerando áreas propícias para o cultivo de espécies alimentares”.

Figura 4 – Barragem submersível modelo Embrapa. Petrolina/PE



Foto: acervo de Maria Sonia Lopes da Silva.

4.2 Barragem subterrânea submersa modelo Costa & Melo

Em 1988, a partir de estudos da UFPE em aluviões do Sertão de Pernambuco (SILVA, 2006), foi testado um modelo de barragem subterrânea submersa, tendo como inovação a utilização do plástico de 200 micras, à semelhança do Modelo Embrapa, em leito de rio/riacho de forte vazão e a construção de um poço amazonas a montante da parede. Esse modelo permite irrigar extensas áreas por meio da irrigação por bombeamento de água a partir desse poço (Figura 5). O modelo ficou conhecido como Costa & Melo em homenagem aos seus criadores e constitui-se em barragens subterrâneas de maior porte comparativamente às do modelo Embrapa.

Figura 5 – Barragem submersa modelo Costa & Melo, em Pernambuco



Fonte: acervo de Oliveira; Alves; França (2010).

4.3 Barragem subterrânea submersível modelo ASA

Em 1994, foram iniciadas ações de desenvolvimento com barragem subterrânea em leito de rios e riachos pela sociedade civil, por meio da ONG Centro de Assessoria e Apoio aos Trabalhadores (Caatinga), na região do Araripe, usando a argila compactada como septo impermeável. Foi a partir do Caatinga que os movimentos sociais começaram a trabalhar com barragem subterrânea (COSTA, 2004; LIMA et al., 2013), permitindo a ampliação do uso dessa tecnologia.

Em 2007, a ASA implantou unidades pilotos de barragem subterrânea submersível nos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Pernambuco, Piauí e Sergipe, utilizando um modelo a partir das experiências do Caatinga e ao criado pela Embrapa, com algumas inovações.

O modelo ASA (Figura 6) possui como principal inovação o uso do plástico como material impermeabilizante no aproveitamento de leitos de rios ou riachos de vazão média, até então utilizado em linhas de drenagem (modelo Embrapa) ou em rios/riachos de grande vazão (modelo Costa &

Melo). Outra inovação, diz respeito ao sangradouro que nesse modelo é fundamentalmente de alvenaria/concreto, o que propicia maior sustentação em anos de precipitação acima da média. Possui, também, à semelhança do modelo Costa e Melo, um poço a montante da parede, porém, devido ao porte da barragem, é do tipo cacimbão em vez de amazonas. O poço permite a retirada da água para diversos fins, como, por exemplo, para irrigação por gravidade, além de contribuir para o processo de renovação da água na bacia de acumulação, dessedentação humana e animal. Para Lima et al. (2013), a irrigação por gravidade adicionou um ganho significativo à tecnologia por permitir um uso mais eficiente da água, principalmente no período de estiagem.

Figura 6 – Barragem subterrânea modelo ASA Brasil. Senador Rui Palmeira/Alagoas



Foto: acervo de Maria Sonia Lopes da Silva

O modelo ASA inovou também na metodologia de seleção das famílias a serem contempladas. Antes da seleção há todo um processo de sensibilização e capacitação das famílias agricultoras por meio de oficinas e de intercâmbios de construção horizontal do conhecimento sobre barragem subterrânea, com a valorização do saber tradicional local. É o modelo utilizado pelas ONGs associadas a ASA, dentro do Programa P1+2.

O modelo da ASA, bem como o da Embrapa, apesar de armazenarem menores quantidades de água, em função da sua construção em área com menores permeabilidades, quando comparado ao modelo Costa & Melo; possibilitam às famílias a oportunidade de cultivar com o aproveitamento do espelho de água formado ou no sistema de agricultura de vazantes.

4.4 Barragem subterrânea submersível modelo Serra Negra do Norte

Segundo Lima (2013), esse modelo foi utilizado pela primeira vez no Município de Serra Negra do Norte/RN, do qual derivou sua denominação. As barragens subterrâneas Serra Negra do Norte (Figura 7a e 7b) se diferenciam dos outros modelos pelo seu maior porte, maior capacidade de acumulação hídrica, tanto superficial como subterrânea, tornando-o um modelo mais oneroso em relação aos demais. Esse modelo possibilita a perenização de trechos de rios intermitentes em virtude da sua construção sequenciada (sucessiva). É um modelo muito utilizado na região do Seridó e, mais recentemente, nos municípios de Umarizal, Caraúbas e Campo Grande, no Rio Grande do Norte.

Figura 7 – Barragens subterrâneas sucessivas, modelo Serra Negra do Norte, construídas no leito do rio Umari, em Umarizal, RN. Local de interceptação do fluxo de água (imagem à esquerda; Área perenizada à montante do local de interceptação (imagem à direita)



Fonte: acervo de Lima (2013).

5 SELEÇÃO DE LOCAL ADEQUADO - PARÂMETROS/ CRITÉRIOS PARA CONSTRUÇÃO

Na escolha do local adequado para construção de uma barragem subterrânea independentemente se submersa ou submersível, deve-se levar em consideração alguns parâmetros/critérios (SILVA et al., 2001; CAVALCANTI et al., 2006; BARBOSA et al., 2014; MELO et al., 2011, BRITO et al., 2015):

- **Local:** podem ser construídas em leitos de rio, riacho ou em linhas de drenagem natural (linhas ou “caminhos” d’água).
- **Capacidade de armazenamento do reservatório:** não construir em áreas próximas as nascentes, devido à baixa recarga local. A construção de barragem subterrânea deve ser efetuada em local que possua uma razoável área de recarga a montante, conseqüentemente, uma boa reserva de água. Caso seja construído em nascentes, atentar para não criar muitas expectativas de ter água armazenada por período significativo de tempo.
- **Solo:** os solos mais adequados são os aluviais. Porém, os solos de textura que variam de média a arenosa (grossa) apresentam ótimos potenciais para os modelos Embrapa e ASA. Em solos muito arenosos e secos, ocorrem constantes desmoronamentos dos taludes, que dificultam o trabalho. Nesses solos, facilmente se encontra a água, que deve ser bombeada para baixar seu nível e permitir a escavação até a camada impermeável (piçarra).
- **Camada impermeável (massapê, piçarra, cabeça de carneiro, sa-lão etc.) ou rocha:** deve estar a uma profundidade efetiva mínima em torno de 1,5 m, para justificar o barramento, e no máximo de 4,0 m – 4,5 m (nos modelos Embrapa e ASA). A profundidade máxima pode ultrapassar este limite, mas atenção deve ser dada para o perigo de desmoronamento, principalmente em casos de solos arenosos.
- **Relevo:** a declividade deve ser de, no máximo, 0,4 a 2% para proporcionar uma maior área de molhamento.
- **Qualidade da água:** de preferência sem problemas com sais.
- **Vazão do rio, riacho ou linhas de drenagem:** evitar áreas que possuam vazão média anual forte a muito forte, quando da locação de barragens submersíveis, evitando-se assim problemas de rompimen-

to na parede e sangradouro. Neste caso, é aconselhável a construção de barragem subterrânea submersa ou barragem submersível Serra Negra do Norte.

- **Clima:** quando se deseja implantar uma unidade de barragem subterrânea é importante se ter conhecimento das condições do clima, principalmente da frequência e média anual das chuvas, sua intensidade e sua duração; além da variação de temperatura e umidade local, que influenciam efetivamente na eficiência e na escolha do tipo e modelo da barragem subterrânea a ser adotado. O local deve possuir uma precipitação média mínima de 200 mm anuais, bem distribuída, para proporcionar acúmulo na barragem subterrânea. As barragens subterrâneas são apropriadas para regiões de clima seco, ou seja, com deficiência de chuva. A Embrapa está desenvolvendo estudos no sentido de definir este valor mínimo que hoje é um dado empírico baseado nas experiências dos técnicos e das famílias.
- **Rocha:** deve-se ter uma noção prévia sobre o tipo de rocha que ocorre na área. As rochas duras (rochas cristalinas) são as mais recomendadas por serem impermeáveis, como por exemplo as rochas denominadas ígneas (granito) e metamórficas (gnaisse). Rochas moles não são recomendadas para construção de barragem subterrânea porque são permeáveis e absorvem umidade. Exemplo disso são as rochas sedimentares (arenito, calcário etc.). Outro aspecto importante é que mesmo nas rochas duras, podem ocorrer as fraturas e mergulhos, ocasionando perda de água na área de acumulação/plantio.
- **Abertura de trincheiras:** recomenda-se abrir, pelo menos três trincheiras, ao longo da linha onde será aberta a vala da parede, visando a identificar os locais das ombreiras (extremidades da parede) e do sangradouro. Caso sejam abertas três, duas devem ser em cada extremidade (partes mais rasas) e uma terceira na parte mais profunda da vala.
- **Empoderamento da família:** a seleção da família a ser beneficiada é de extrema importância. Atentar para a necessidade e o interesse dela, para que haja o efetivo empoderamento da tecnologia.

6 PRINCIPAIS CLASSES DE SOLOS DO SEMIÁRIDO E SEU USO EM BARRAGENS SUBTERRÂNEAS

De acordo com o Zoneamento Agroecológico do Nordeste, realizado pela Embrapa, a região foi compartimentada em 20 Grandes Unidades de Paisagens (UPs - constituem áreas relativamente homogêneas que denotam a estreita relação entre as características ecológicas de um território, ou seja, são áreas com características morfoestruturais e/ou, geomorfológicas e/ou, geográficas homogêneas), que agrupam 172 Unidades Geoambientais (UGs – são áreas cujo material de origem do solo, vegetação natural, o modelado e a natureza e distribuição dos solos na paisagem, apresentam um conjunto de associações recorrentes, cuja variabilidade é mínima, de acordo com a escala cartográfica), as quais demandam políticas públicas e tecnologias bastante diferenciadas (SILVA et al., 2000).

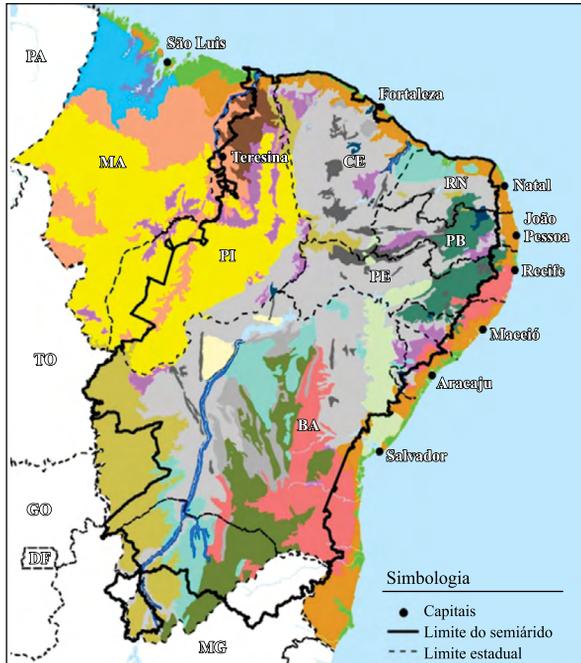
Grande parte dessas UPs está inserida na região semiárida, especialmente a UP da Depressão Sertaneja (Figura 8) que se caracteriza, principalmente, pela predominância de rochas cristalinas; relevo pouco movimentado, com ocorrência de elevações residuais do tipo inselbergues com altitude de 500 a 800 m; clima seco, com baixas precipitações pluviométricas e altas temperaturas; solos rasos e pedregosos. Nesses ambientes há ocorrência de rios e riachos com áreas de baixios e várzeas, onde predominam Neossolos Flúvicos que por suas características de textura, profundidade e posição na paisagem apresentam potencial para construção de barragens subterrâneas (NASCIMENTO et al., 2015).

Um dos aspectos técnicos fundamentais na construção de barragens subterrâneas é a avaliação prévia das características do solo da área e do ambiente onde se pretende implantar uma unidade produtiva. É importante que se faça avaliação dos solos no contexto da paisagem da bacia de captação, bem como dos aspectos geológicos da área. O entendimento mínimo sobre o solo e o ambiente é, também, importante na formação dos multiplicadores, por contribuir com conhecimentos que refletirá em uma melhor divulgação da tecnologia e em melhores condições para se recomendar um manejo adequado do solo e da água, assim como opções de cultivos mais propícios às condições ambientais locais (SILVA et al., 2010a).

A partir dos critérios técnicos recomendados para a construção de barragens subterrâneas e de monitoramento realizado em algumas unidades produtivas, foi realizada uma prospecção das principais classes de solo do

Semiárido do Nordeste brasileiro por meio da sobreposição desses critérios técnicos com as características das classes de solo constantes em Silva et al. (2000), objetivando discutir suas potencialidades e limitações no processo de locação e construção, bem como no posterior uso em barragens subterrâneas.

Figura 8 – Distribuição das UPs no Semiárido do Nordeste brasileiro com destaque para a Depressão Sertaneja



Legenda Unidades de Paisagem

- | | |
|--|--|
| ■ A - Chapas Altas | ■ L - Tabuleiros Costeiros |
| ■ B - Chapadas Intermediárias e Baixas | ■ M - Baixada Litorânea |
| ■ C - Chapadas Diamantina | ■ N - Grandes Áreas Aluviais |
| ■ D - Planalto da Borborema | ■ O - Golfão Maranhense |
| ■ E - Superfícies Retrabalhadas | ■ P - Grande Baixada Maranhense |
| ■ F - Depressão Sertaneja | ■ Q - Dunas Continentais |
| ■ G - Superfícies Dissecadas dos Vales dos Rios
Gurgueis, Parnaíba, Itapecuru e Tocantins | ■ R - Complexo de Campo Maior |
| ■ H - Superfícies Dissecadas Diversas | ■ S - Maciços e Serras Altas |
| ■ I - Bacias Sedimentares | ■ T - Maciços e Serras Baixas |
| ■ J - Superfícies Cárticas | ■ U - Serrotes, Inselbergues e Maciços Residuais |

Fonte: Embrapa.

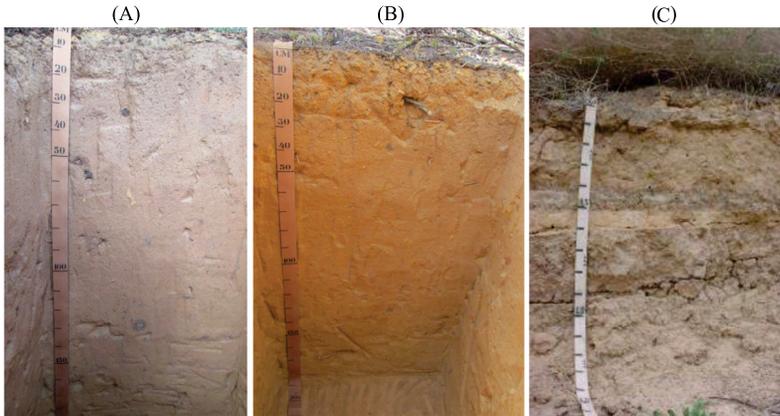
6.1 Potencialidades das principais classes de solos do Semiárido do Nordeste brasileiro para a construção de barragens subterrâneas

- *Solos de textura arenosa*

Solos de textura arenosa como os Neossolos Quartzarênicos típicos (Figura 9a), geralmente não são aptos para barragem subterrânea devido a serem muito profundos (mais de 5 m) e possuírem baixa capacidade de retenção de água. Porém quando estes solos apresentam uma camada impermeável a 3 m de profundidade, e certo teor de argila como os Neossolos Quartzarênicos Latossólicos (Figura 9b), podem ser utilizados com bons resultados. Estes solos apresentam melhores retenções de água nos horizontes mais profundos devido aos maiores teores de partículas finas (argila).

Os Neossolos Flúvicos (aluviões) são os mais comumente usados para construção de barragens subterrâneas em leito de riacho (Figura 9c). Porém, especial atenção tem que ser dada para a profundidade, quando no caso do Modelo Embrapa, que só admite sua construção em solos com profundidade de até 4 m, devido a maior resistência e segurança do plástico quanto à vazão da água. Leitos de rios e riacho que possuem vazão (força da correnteza) forte a muito forte apresentam solos profundos.

Figura 9 – (A) Neossolo Quartzarênico típico; (B) Neossolo Quartzarênico latossólico; e (C) Neossolo Flúvico



Fotos: arquivo Embrapa Solos Recife.

Em se tratando dos Neossolos Flúvicos é fundamental o conhecimento da vazão do riacho e, conseqüentemente, da profundidade do solo, antes de se decidir qual tipo de material vai ser utilizado na construção da parede, para que não se coloque em risco a estrutura da barragem, quando de um ano com chuvas muito além da média da região. Chamamos a atenção de que estas limitações no que diz respeito à profundidade, vazão da água e, conseqüentemente, ao material utilizado na parede se aplica às barragens subterrâneas submersíveis.

Em rios ou riachos onde os solos apresentem profundidades maiores e com grande vazão, é recomendada a construção de barragem subterrânea submersa com septo impermeável/parede em alvenaria ou de pedra e cimento. Outro aspecto a considerar em rios com forte vazão é o intervalo de tempo entre grandes eventos de chuva. Mesmo onde o histórico aponte ocorrências de chuvas a cada 10 - 20 anos, não é aconselhável a construção de barragem subterrânea de plástico, pois a forte vazão em anos atípicos de chuva danifica ou mesmo rompe o septo impermeável (parede), comprometendo todo investimento.

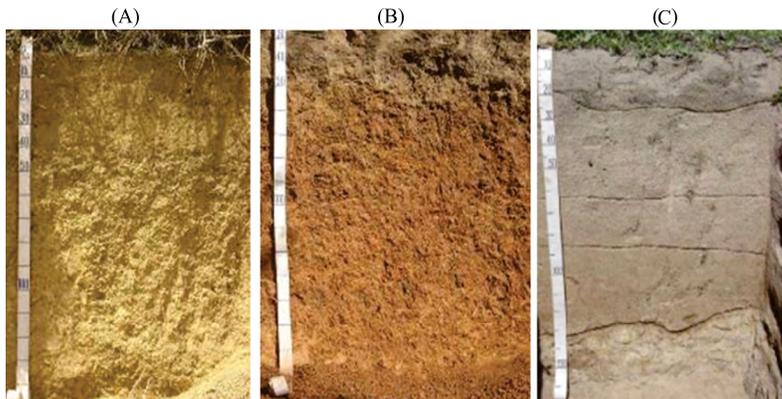
- *Solos de textura média/argilosa*

Os solos com textura média/argilosa podem apresentar propriedades favoráveis, proporcionando maior retenção de água e nutrientes e melhores condições de manejo, principalmente no período de chuvas. Os Argissolos Amarelos (Figura 10a) e Argissolos Vermelho-Amarelos (Figura 10b) com textura média/argilosa são solos que ocorrem com grande frequência no Semiárido e nos quais podem ser locados barragens subterrâneas com maior garantia de sucesso devido às suas características de média fertilidade e condições físicas favoráveis, mesmo quando apresentam camada de impedimento superior a 1,0 m de profundidade.

O impedimento físico proporciona um comportamento peculiar nesses solos que pode ser favorável em termos de suprimento de água às plantas, principalmente na região semiárida. A baixa disponibilidade de água nas camadas aráveis é compensada pelos horizontes subsuperficiais, apresentando um aumento da capacidade de armazenamento. Essa característica, aliada a uma menor permeabilidade e uma moderada capacidade de infiltração, permite uma maior e mais demorada condição de armazenamento de água nessa zona de impedimento e acima dela, o que para barragem subterrânea constitui característica favorável.

Os Planossolos (Figura 10c) que apresentam uma camada superficial arenosa de 1 a 2 m de profundidade imediatamente acima de outra argilosa estão sendo muito utilizados para a construção de barragens subterrâneas no Semiárido do Nordeste brasileiro. Por ser um solo que tem como uma de suas características a presença de sais, possui sérias limitações quanto ao uso, sendo recomendado para cultivos de espécies tolerantes como feijão-de-corda, cana-de-açúcar, limão rugoso, tangerina, batata-doce, abóbora, melão, abobrinha, algodão, coco, beterraba, pepino, pastagem, entre outras. Onde não se tem essa camada arenosa, os Planossolos estão sendo utilizados para produção de água para irrigar as áreas no entorno com cultivo de fruteiras, hortaliças, forragem e grãos, por meio do bombeamento da água do poço localizado à montante da parede. É fundamental que se tenha conhecimento das potencialidades e limitações do solo da área de plantio da barragem subterrânea, pois a partir desse conhecimento se escolherá o manejo e os cultivos adequados.

Figura 10 – (A) Argissolo Amarelo; (B) Argissolo Vermelho Amarelo; e (C) Planossolo com camada superficial arenosa de 1 - 2 m de profundidade

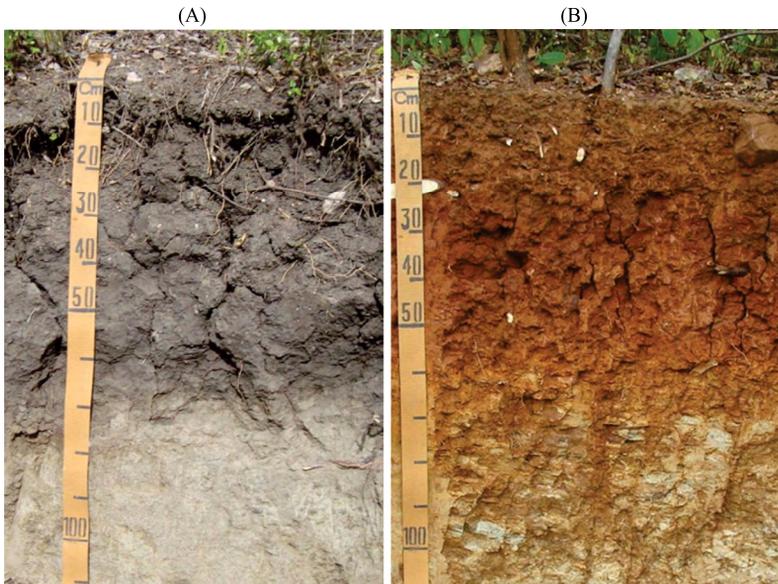


Fotos: arquivo Embrapa Solos UEP Recife.

- *Solos de textura argilosa e muito argilosa*

Os solos argilosos e muitos argilosos como os Vertissolos (Figura 11a), os Luvisolos Crômicos vertissólicos (Figura 11b) e outros com características vérticas, apesar da alta a média fertilidade natural, não são viáveis para construção de barragem subterrânea em consequência da sua composição mineralógica essencialmente de minerais do tipo 2:1 (ex.: montmorilonita, vermiculita, mica, etc.), o que confere a estes solos características de expansão e contração conforme o teor de umidade. Essas características podem comprometer a estrutura da parede proporcionando vazamento, bem como dificultar o manejo da área de plantio, dentro da bacia hidráulica, durante o período chuvoso, devido o alto teor da argila que adere facilmente ao implemento, e quando o solo seca fica duro a muito duro, dificultando, da mesma forma de quando úmido, o manejo do solo. Além dessas características, eles apresentam limitações como a baixa permeabilidade, baixa condutividade hidráulica, alta capacidade de retenção de água e baixa velocidade de infiltração, condições que propiciam acúmulo de sais na superfície, o que é indesejável para barragem subterrânea.

Figura 11 – (A) Vertissolo e (B) Luvisolo Crômico vertissólico



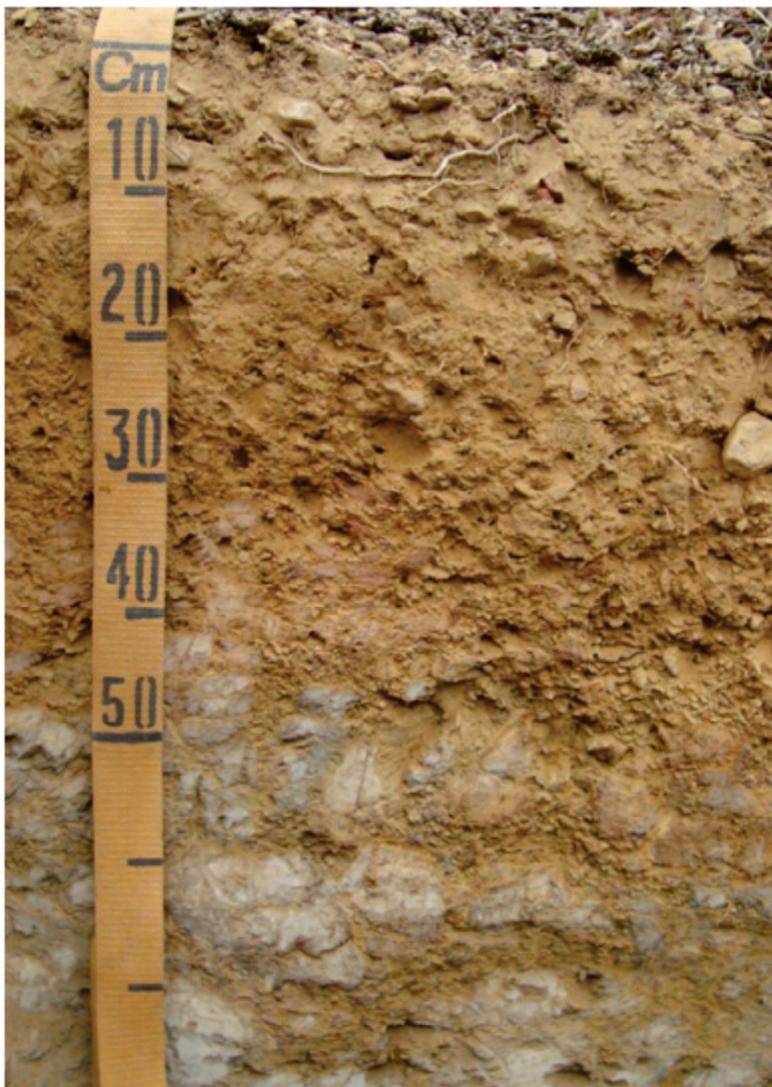
Fotos: arquivo Embrapa Solos UEP Recife.

- *Solos rasos e poucos profundos*

Os solos rasos, como os Neossolos Litólicos (Figura 12), e solos pouco profundos (< 100 cm) não são recomendados para locação de barragens subterrâneas por proporcionarem pouca acumulação de água. Os Neossolos Litólicos, por definição, não são recomendados para uso agrícola convencional, mas podem ser utilizados com pastagens ou para preservação ambiental.

O conhecimento e a experiência do agricultor e do técnico responsável pela implantação da tecnologia serão decisivos para a locação, construção, uso e manejo da mesma. Em certas situações, o agricultor dispõe de uma área apropriada para a construção da barragem subterrânea no que diz respeito às condições de relevo e disponibilidade de água, entretanto, o solo não é o mais adequado. Tal situação não deve ser encarada como um impedimento definitivo à sua implantação. Conhecendo-se o ambiente, pode-se planejar um uso e manejo adequados às suas características. Isto não implica dizer que se pode construir barragens subterrâneas em todo tipo de solo. O técnico e o agricultor têm que ter o conhecimento técnico aliado ao bom senso.

Figura 12 – Neossolo Litólico



7 CONSTRUÇÃO, MANEJO DO SOLO, DAS CULTURAS, DA ÁGUA E MANUTENÇÃO DA BARRAGEM SUBTERRÂNEA

7.1 Construção

Independentemente do tipo e modelo da barragem subterrânea, sua construção é feita no período seco (verão), escavando-se uma vala, manualmente ou com retroescavadeira, no sentido transversal da descida das águas até a rocha ou camada impermeável (Figura 13a). Em seguida, faz-se a limpeza da parede, que fica a jusante, eliminando-se materiais pontiagudos que venham danificar o plástico (raízes, pedras e torrões).

Dentro da vala, estende-se um plástico de polietileno com espessura de 200 micra por toda sua extensão. O plástico dentro da vala se constitui na parede/septo impermeável (Figura 13b). Nessa parede, nas barragens subterrâneas submersíveis, deve ser feito um sangradouro/vertedouro (Figuras 13c) para eliminar o excedente quando das chuvas torrenciais. Após o plástico estendido, a vala deve ser fechada com a terra que foi retirada na sua abertura, porém antes se deve retirar as pedras, torrões e raízes maiores e mais pontiagudos. O fechamento da barragem subterrânea pode ser manual ou com pá mecânica, preferencialmente deve ser manual para ir descartando os materiais pontiagudos. E aí a barragem subterrânea está pronta. No caso de barragem subterrânea, independentemente do tipo, construída em ambiente de rio ou riacho é recomendado à construção de um poço (maiores detalhes no subitem 7.3 Manejo da água) dentro de sua área de plantio (Figura 13d).

Figura 13 – (A) Vala da parede aberta; (B) Plástico estendido formando a parede/septo impermeável; (C) Detalhe do sangradouro pronto e vala fechada com plástico enterrado, formando a parede/septo impermeável; (D) Barragem subterrânea em produção com poço construído a sua montante.

(A)



(B)



(C)



(D)



Fotos A, B, C: Acervo de Maria Sonia Lopes da Silva
Foto D: Acervo Asa Brasil

7.2 Manejo do solo e das culturas

No manejo da barragem subterrânea é recomendado o uso de práticas agroecológicas, com o preparo do solo da sua área de plantio sendo feito após as primeiras chuvas, à semelhança do sistema de plantio de agricultu-

ra de vazante, onde o plantio é feito acompanhando a linha da água (curva de nível), podendo-se utilizar para isso implementos, preferencialmente à tração animal (SILVA et al., 2007a; MELO et al., 2013. Porém, a área próxima ao sangradouro (onde há maior acúmulo de água) não deve ser plantada no início das chuvas, pois podem ocorrer, durante o período chuvoso, precipitações acima da média, causando perda de sementes e de mudas, e conseqüentemente, do plantio. Nessa área é melhor plantar mais próximo do final do período chuvoso. Uma alternativa que pode ser usada nessa área próxima ao sangradouro é o plantio de arroz e de algumas variedades de capim, que suportem áreas alagadas. Recomenda-se, também, a cada dez linhas de plantio abrir um sulco de contenção para diminuir a força das enxurradas em anos de chuvas torrenciais (SILVA et al., 2007b). Como se trata de uma tecnologia na qual a água fica armazenada dentro do solo aconselha-se o acompanhamento da fertilidade e dos níveis de sais no solo por meio de análise do solo a cada dois anos, evitando assim a perda da sua capacidade produtiva (SILVA et al., 2010b).

No que diz respeito às práticas culturais e de manejo do solo para barragem subterrânea, orienta-se que sejam adotadas: rotação de culturas; cultivos consorciados; diversificação de cultivos; adubação orgânica com a utilização de esterco bem curtido, tortas vegetais, cobertura “morta”, adubação verde, composto orgânico e biofertilizante (SILVA et al., 2012). No controle fitossanitário é recomendado o uso de inseticidas naturais a exemplo dos macerados de Nim, urtiga, entre outras (BARBOSA et al., 2006).

7.3 Manejo da água

Como a barragem subterrânea é uma tecnologia recomendada para o Semiárido, na qual a água fica armazenada no solo por um período de tempo considerável, sugere-se que não seja construída em locais onde a fonte de água e/ou o solo possua histórico de presença de sais. Como já mencionado, é aconselhável realizar análise do solo a cada dois anos para acompanhar os níveis de sais, evitando-se assim problemas de salinidade (SILVA et al., 2010a).

Nas barragens localizadas em leito de rio ou riacho, é recomendado se construir um poço na área de plantio/captação, na parte mais profunda do terreno, aproximadamente a 5 m da parede, permitindo a renovação da água; consumo pelas criações; irrigação do seu entorno; e no período seco, a própria barragem subterrânea. O poço pode ser revestido com anéis de

cimento ou tijolos ou placas pré-moldadas (LIMA, 2007; CAVALCANTI et al., 2006; BOTELHO et al., 2011). O poço permite ainda o acompanhamento do nível da água dentro do solo, bem como facilita a coleta de água para análise de sua qualidade. Essa análise da água é recomendada a cada dois anos, coletando-se nos períodos de estiagem e durante as chuvas, respectivamente (SILVA et al., 2010b; SILVA et al., 2010c).

7.4 Manutenção

É recomendado sempre manter o plástico coberto pelo solo, aumentando assim a sua longevidade; deixar as plantas espontâneas crescerem em cima da parede e posteriormente roçar, deixando-as no local como cobertura morta, diminuindo a incidência dos raios solares; reforçar as laterais com pedras para evitar processos erosivos; colocar pedras a jusante do sangradouro ou fazer tipo uns degraus de cimento (alguns locais chamam de “espinha de peixe”) ou ainda plantar capim, visando a amortecer a força da água quando do escoamento do excedente, evitando assim processos erosivos a jusante da parede; realizar reparos no sangradouro, caso haja problemas de rachadura ou outro dano qualquer; aumentar a altura da parede e do sangradouro à medida que for aumentando a camada de sedimentos na área de plantio; alguns agricultores adotam manter capim, que suporte alagamento, na frente da parede (montante) como medida de proteção da mesma. No caso das barragens com poço ficar atento para sua manutenção e limpeza e possíveis reparos em rachaduras e quebra na borda.

Há relatos nos quais a caixa d’água apresentava rachaduras, por ficar exposta ao sol. Para superar esse problema, as ONGs estão construindo as caixas d’águas com anéis de cimento, tijolos ou placas pré-moldadas.

8 ALTERNATIVAS DE CULTIVOS

Os cultivos na barragem subterrânea variam com o interesse econômico de cada região e de cada agricultor. Em geral, nos estados da Bahia e de Pernambuco, as barragens subterrâneas são tradicionalmente cultivadas, principalmente, com feijão-de-corda ou macassa, milho, batata-doce, mandioca, guandu e forragem. No Rio Grande do Norte, em região onde chove uma média anual de 1.000 mm, há agricultores produzindo arroz. No Alto Sertão da Paraíba, produz-se manga para exportação (COSTA et al., 2000)

e na região do Cariri, Brejo e Curimataú, PB, são cultivados além do milho e feijão, também hortaliças, plantas condimentares, medicinais, forragem e flores. É muito comum em todo o Semiárido, o cultivo de fruteiras para consumo familiar, tais como limão, goiaba, pinha, acerola, caju, manga, entre outras. Mas, em se tratando de fruteiras, recomenda-se o seu plantio às margens/encostas da barragem para melhor aproveitamento da umidade nas camadas inferiores do solo, uma vez que possuem sistema radicular mais profundo; e para evitar possíveis sombreamento das culturais anuais.

9 EXPERIÊNCIAS DA EMBRAPA EM PESQUISA PARTICIPATIVA COM BARRAGEM SUBTERRÂNEA

Na Embrapa, as pesquisas participativas com captação e armazenamento de água de chuva em barragem subterrânea com enfoque sistêmico tiveram início efetivamente em 2004, pela Embrapa Semiárido, com o apoio financeiro do Banco do Nordeste do Brasil (BNB). As pesquisas foram desenvolvidas em três estados do Nordeste (Bahia, Pernambuco e Paraíba). Agricultores, técnicos e pesquisadores se constituíram no que se denominou “múltiplos atores”, que exercitaram a construção do conhecimento coletivo, sistematização, comunicação e a experimentação no diagnóstico e no manejo do solo e da água em barragens subterrâneas. Esse estudo proporcionou a oportunidade de reunir empresas públicas e a sociedade civil para, juntamente com as famílias agricultoras, discutirem, planejarem e definirem pesquisas e programarem ações estruturantes, visando um Semiárido mais justo e igualitário.

Os primeiros parceiros que estiveram com a Embrapa no início da caminhada com a pesquisa participativa, dentro do contexto da agroecologia, com foco na barragem subterrânea, foram: as famílias agricultoras da região semiárida nordestina; o *Centre de Coopération Internationale há Recherche Agronomique pour le Développement* (Cirad); A ASA Brasil por meio das ONGs associadas Instituto Regional da Pequena Agropecuária Apropriada (Irpaa), Centro de Assessoria e Apoio a Trabalhadores (Caatinga), Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa (AS-PTA), Programa de Aplicação de Tecnologias Apropriadas às Comunidades (Patac); a Universidade Estadual da Bahia (UNEB – Campus Juazeiro); e o IF Sertão, PE (Campus Petrolina).

Os métodos de pesquisa participativa em agroecologia integram tanto a complexidade social como a ecológica. E este constituiu um desafio enfrentado pelos diversos pesquisadores e organizações envolvidas no projeto. Como resultado dessas parcerias, houve um processo de qualificação e construção metodológica crescente que dialogou com a pesquisa clássica, buscando melhorar o rigor na geração de dados e na forma de análise dos mesmos.

A partir de 2007, a Embrapa Solos por meio de sua Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento, sediada em Recife/PE, engajou-se no desenvolvimento de pesquisas com barragem subterrânea no Semiárido do Nordeste brasileiro, nos estados de Alagoas, Bahia, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará. Os principais temas de pesquisas desenvolvidos têm como ponto focal a avaliação da sustentabilidade de agroecossistemas com barragem subterrânea, em uma visão holística e sistêmica, com ênfase na contribuição que essa tecnologia proporciona na sustentabilidade socioeconômica e ambiental, na eficiência de produção, (método do metabolismo agrário), e na resiliência dos referidos agroecossistemas.

Para o desenvolvimento dessas pesquisas, são parceiros a ASA, por meio de suas associadas: Caatinga, Centro de Educação Comunitária Rural (Cecor), Caritas Diocesana de Pesqueira, PE, AS-PTA, Patac, Irapá e Centro de Apoio Comunitário de Tapera em União a Senador (Cactus); Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE); Universidade Federal de Pernambuco (UFPE); UNEB (Campus de Juazeiro/BA); Universidade Federal de Alagoas (Ufal - Campus Sertão); IF Sertão-PE (Campus Petrolina); IF PE (Campus Vitória de Santão); Ifal (Campus Maragogi, Santana do Ipanema e Piranhas); Universidade Estadual de Alagoas (Uneal); e algumas unidades da Embrapa: Semiárido, Algodão, Caprinos e Ovinos, Meio Norte, Tabuleiros Costeiros e Agroindústria Tropical. Os referidos projetos sempre contaram com o apoio financeiro do Banco do Nordeste do Brasil, CNPq, Agência Espanhola de Cooperação Internacional para o Desenvolvimento (Aecid por meio do Prêmio Mandacaru, tendo como gestor financeiro o Instituto Brasileiro de Desenvolvimento e Sustentabilidade -IABS), além de recursos da própria Embrapa.

A partir de 2010, em parceria com a Emater-Rio e a Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro (Pesagro), iniciou estudo de avaliação de impactos provocados pela barragem subterrânea em Unidade de Pesquisa Participativa (UPP) do Programa Rio Rural, na microbacia Brejo da Piedade, em Quissamã, RJ. De acordo com os dados da pesquisa, a barragem vem contribuindo com a irrigação da pastagem, consequentemente

com o aumento da produção do leite da propriedade. Um outro adicional da BS é ter colaborado com a recuperação da várzea pela contribuição com a conservação e o uso racional do solo e da água.

9.1 Caracterização dos agroecossistemas com barragem subterrânea

O foco inicial das pesquisas foi a caracterização dos agroecossistemas com barragem subterrânea, analisando a sua interação com os demais sub-sistemas que integram o conjunto da propriedade. Os dados foram coletados a partir de ficha de acompanhamento, questionários e oficinas de intercâmbio. As informações coletadas abrangeram os aspectos socioeconômicos e ecológicos, o que permitiu conhecer melhor os agricultores e suas famílias, determinar os diferentes elementos que fazem parte dos agroecossistemas, e analisar as relações que ocorrem entre uso e manejo da água.

Os intercâmbios que consistiram de visitas técnicas às propriedades rurais com diferentes experiências em barragem subterrânea, tiveram como objetivo a troca de conhecimentos sobre a tecnologia em diferentes ambientes, tipos e modelos (Figura 14a, b, c e d). Constituíram experiências significativas na execução dos projetos. Foram realizadas três oficinas, uma em cada estado onde se desenvolveu a pesquisa e contaram com a participação dos atores envolvidos no processo. Os intercâmbios permitiram refletir sobre o crescente reconhecimento da importância e da necessidade de se trabalhar em conjunto com os agricultores, para identificar, testar, avaliar e irradiar as tecnologias agrícolas, por meios de uma abordagem participativa visando a identificar soluções dentro da realidade de cada ambiente.

Figura 14 – (A) e (B) Intercâmbios em Petrolina, PE; (C) e (D) sistematizando os intercâmbios realizados



Fotos: acervo de Maria Sonia Lopes da Silva

Os resultados desses intercâmbios mostraram que:

- Existem dois ambientes distintos de locação de barragem subterrânea; em leito de rio e riacho e em linhas de drenagem (parte da Bahia e de Pernambuco).
- Ficou evidente a necessidade de uma abordagem mais efetiva de pesquisa-ação participativa para a construção do conhecimento no que diz respeito às práticas de manejo de solo-água-plantas dentro do contexto da barragem subterrânea.
- Há um número significativo de barragens subterrâneas subutilizadas, devido, em ordem de prioridade, a problemas de locação, falta de

conhecimento por parte do agricultor sobre a funcionalidade/manejo da tecnologia, e falta de empoderamento das famílias.

- Há uma maior valorização das barragens subterrâneas quando esta constitui uma das fontes de renda da propriedade, i.e., quando a família necessita dela para colaborar no seu sustento.
- A maioria das barragens é construída com recursos de projetos de ONGs e, atualmente, pelo Programa Uma Terra e Duas Águas (P1+2), implantado pela ASA.
- Há necessidade de acompanhamento técnico para realizar sensibilização e capacitação das famílias quanto aos aspectos de manejo e manutenção da barragem subterrânea.
- A contrapartida do agricultor é fundamental para que ele se sinta responsável.
- Os problemas de salinização, via de regra, são devidos a locações feitas sem obedecer aos parâmetros recomendados, i.e., barragens são construídas em locais com problemas de sais e/ou em solos com características que favorecem o seu acúmulo.
- As barragens da Paraíba apresentaram melhor desempenho em relação às dos estados de Pernambuco e Bahia, devido às suas localizações em ambientes com precipitação média anual maior e a atuação marcante do Polo Sindical e das ONGs AS-PTA e Patac junto aos agricultores familiares.

Após a sistematização destes intercâmbios foram identificadas as potencialidades, os problemas a serem superados e as demandas de pesquisas no âmbito da barragem subterrânea:

Potencialidades

- Valorização de uma grande quantidade de terra, principalmente em locais onde a erosão constitui um problema, a exemplo da Paraíba;
- Diversificação agrícola;
- Reorganização da família;
- Espaço de aprendizado e troca de conhecimentos;
- Proporciona independência da: água, alimento, forragem, financeira, e consequentemente política;

- Aumenta a autonomia do trabalho da mulher na agricultura;
- Proporciona a conservação do solo e da água porque armazena água na terra; recompõe o solo onde havia pedras; sustenta a terra na propriedade; diminui a degradação da vegetação nativa; proporciona o acesso à água para produção.

Alguns depoimentos de agricultores realizados durante as oficinas demonstram a importância dos intercâmbios na construção do conhecimento, na troca de experiências, bem como a contribuição da barragem subterrânea na produção agrícola e na vida das famílias.

Depois da barragem subterrânea, pude plantar coisa que não podia plantar antes porque não vingava por falta de água. Depois dela, tenho as minhas fruteiras, além do milho e feijão que já plantava. Ela também tem me ajudado muito com as palmas, deu bem mais sustentação.

Seu Aderbal, Canudos, BA.

Quem vive dentro da terra tem o que pegar dela, agora quem nunca vai lá não pode ter. A mesma coisa é com a barragem subterrânea. Só não tem o que pegar nela quem não trabalha nela.

Dona Maria Viana - Sítio Maniçoba, Ouricuri, PE.

Na minha propriedade, lá na Paraíba, tenho só uma barragem subterrânea, mas depois desse intercâmbio daqui, vi que posso ter mais, pois não precisa ser só em riacho, pode ser também nos caminhos que a água faz, lá tenho uma área boa para mais uma, não vai ser grande como essa daqui, mas vai dar sim.

Zé Brejeiro, Sítio Umbuzeiro, região de Caiçara, Soledade (PB)

Problemas a serem superados

- Necessidade de todos envolvidos em barragem subterrânea (agricultores, técnicos e pesquisadores) conhecerem os diferentes tipos, modelos e os diversos ambientes onde se pode implantar uma barragem subterrânea;
- Falta de valorização da barragem por parte de alguns agricultores;

- Necessidade de sensibilização e capacitação da agricultora e do agricultor para que ele possa entender o funcionamento e manejo da BS, entender que a barragem subterrânea não é para acumular água superficialmente, é para armazenar água dentro da terra;
- Dificuldade em localizar um ambiente adequado para construção;
- Risco de salinização;
- Assoreamento da barragem;
- Tamanho do sangradouro;
- Vazamento da água/umidade.

Temas demandados para o desenvolvimento de novas pesquisas

Nessa oficina foram discutidos e identificados os seguintes temas de pesquisa:

- Estudo de áreas adequadas para localização de barragens, de acordo com cada ambiente e tipo de barragem subterrânea (submersa ou submersível);
- Aspectos de construção relacionados aos modelos de sangradouro (critérios para definição de sua dimensão atrelada à dimensão da área de captação e precipitação da região);
- Salinização (avaliação e propostas de prevenção e controle);
- Metodologia de irradiação (divulgação adequada da tecnologia);
- Ocupação, uso e manejo de base ecológica do solo, água e cultivos em áreas de plantio de barragens subterrâneas;
- Impacto das barragens subterrâneas nos agroecossistemas e na vida das famílias;
- Monitoramento: do nível da água a montante e a jusante da barragem subterrânea; características físicas e químicas do solo e da água;
- Capacidade de recarga da bacia hidráulica da barragem;
- Capacidade de resistência ou recuperação dos agroecossistemas a secas ou encharcadas.

9.2 Estudo de caso: sustentabilidade socioeconômica de um agroecossistema com barragem subterrânea no Estado da Paraíba

Após os estudos de caracterização/diagnóstico das BSs, a Embrapa iniciou suas pesquisas de avaliação de sustentabilidade socioeconômica e ambiental de agroecossistemas com barragem subterrânea, bem como sua [BSs] contribuição na resiliência de tais agroecossistemas frente às intempéries climáticas. A partir dessas pesquisas foram desenvolvidas dissertações de mestrado e monografias de conclusão de curso. Tais estudos, constituíram estudo de caso realizado por meio de monitoramento em agroecossistemas de quatro estados do Nordeste (BA, AL, PE e PB), em parceria com a ASA (e associadas: Caatinga, Cecor, Irpaa, Cactus, Patac, Caritas Diocesana de Pesqueira e AS-PTA), algumas unidades da Embrapa (Semiárido, Algodão, Tabuleiros Costeiros, Agroindústria Tropical e Meio Norte) e universidades (UFRPE, UFPE, UNEB, Ufal, Uneval, Universidade Federal de São Carlo - UFScar e Universidade Internacional de Andaluzia, Córdoba, Espanha - Unia). A título de exemplo, será apresentado um estudo de caso na Paraíba.

9.2.1 *Descrição da unidade produtiva e metodologia utilizada no diagnóstico*

A propriedade, denominada aqui Núcleo Social Gestor do Agroecossistema (NSGA), está localizada no Sítio Almeida, no Município de Lagoa Seca/PB, nas coordenadas 25M 0184318 e UTM 9207889, a uma altitude de 671 m e distando 147 km de João Pessoa. O sítio possui uma área 2,5 ha, apresentando solos de textura média, boa capacidade de retenção de água e profundidade variando de 0,70 a 6,00 m. É uma região de clima tropical úmido, com temperatura média anual em torno de 22° C, sendo a mínima de 18° C e a máxima de 33° C. A vegetação natural cedeu lugar ao desenvolvimento de culturas diversas como feijão, mandioca, milho, destacando-se o cultivo de hortaliças e algumas frutíferas.

Na NSGA somente o dono de casa possui dedicação exclusiva ao trabalho com a agricultura. Sua esposa, além da roça, também trabalha com a produção de artesanato. Um dos filhos dedica parte do tempo ao trabalho na roça, já que tem que frequentar a escola em um dos turnos, o outro era recém-nascido. O agroecossistema manejado pela família é composto pelos

subsistemas: reserva florestal; roçado; uma barragem subterrânea produzindo hortaliças, flores, frutas e plantas medicinais; área de produção no entorno da casa (horta com plantas medicinais, flores, pomar, porcos e aves); e um tanque escavado para criação de peixes. Para fazer frente aos déficits hídricos, gerados pelas secas prolongadas, a família criou uma diversificada infraestrutura hídrica, contando com um poço de uso familiar, uma cisterna de placas, um barreiro e a barragem subterrânea. Essa barragem foi construída em fevereiro de 2001, com a colaboração da família.

O estudo dos impactos da barragem subterrânea nos agroecossistemas e a análise de sua influência no redesenho dos demais subsistemas foram realizados, por meio de questionário, entrevistas abertas, observação direta e construção de mapas, indicando neles suas estruturas, espaços e culturas.

9.2.2 Subsistemas produtivos

As informações coletadas para a realização do estudo abrangeram os aspectos sociais, agronômicos, econômicos e ecológicos. Esses aspectos permitiram conhecer melhor os agricultores e suas famílias; determinar os diferentes elementos que faziam parte das propriedades; analisar as relações que ocorriam entre uso e manejo da água e os impactos resultantes, além de avaliar a sustentabilidade da produção de alimentos para maior segurança da família.

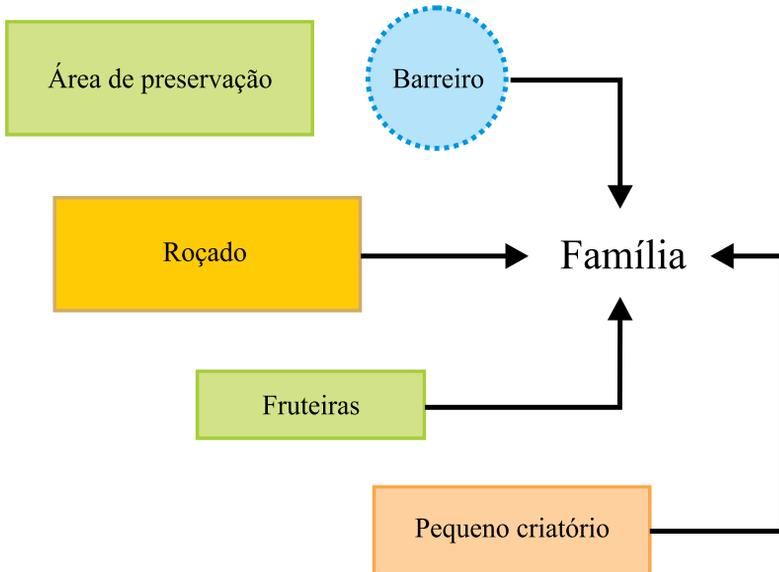
Nesse processo foi realizado o levantamento das áreas, traçando os mapas (diagramas) e indicando neles suas estruturas, espaços e cultivos. Os mapas na ocasião foram comparados com mapas das propriedades na época da instalação das famílias, fazendo com que os agricultores entendessem os processos e contextos da evolução até os modelos atuais dos sistemas.

Após a identificação dos subsistemas, foram realizados o levantamento e a sistematização das informações sobre cada um deles, tanto em suas dinâmicas internas quanto em suas relações com os demais subsistemas, e como todos eles interagem com a barragem subterrânea.

No processo de levantamento de dados foram feitas comparações no tempo, permitindo acompanhar a evolução dos subsistemas (Figuras 15 e 16). Os impactos foram medidos por meio das mudanças verificadas nos indicadores antes e depois da adoção da barragem subterrânea. A Figura 15 mostra o diagrama de fluxos que representa o funcionamento da propriedade em 1984. Um sistema muito frágil, com alta dependência de recursos externos. Na figura 16, o sistema está representado por um alto grau de

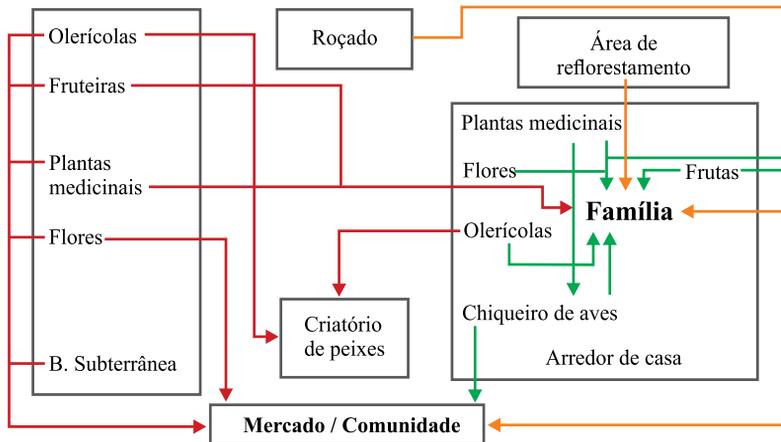
complexidade no seu funcionamento, após as inúmeras experiências desenvolvidas. Essas experiências estão potencializando o desenvolvimento da unidade produtiva, já que contribuem de forma decisiva para a segurança alimentar da família e na reprodução do sistema.

Figura 15 – Diagrama de fluxo (mapa). Sistema de produção NSGA. Lagoa Seca/PB (1984)



Fonte: elaborado por Márcia Moura Moreira.

Figura 16 – Diagrama de fluxo. Sistema de produção agroecológica NSGA. Lagoa Seca/PB



Fonte: elaborado por Márcia Moura Moreira.

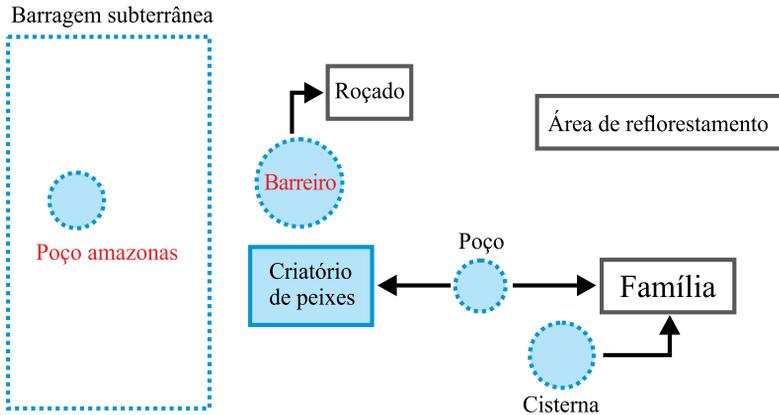
O estudo constatou que a barragem subterrânea tem sido uma boa fonte de renda na unidade produtiva. Espaços onde antes não era possível cultivar um número considerável de espécies vegetais, em decorrência da baixa umidade do solo, hoje estão transformados em nichos de alta produtividade, capazes de influenciar de forma direta no redesenho dos demais subsistemas. Com uma precipitação média anual de 495,8mm/ano, na região de Lagoa Seca, a família chegou a colher um total de 1.175 kg divididos entre os cultivos de cará, gergelim, feijão macassa e inhame, além das olerícolas colhidas semanalmente (de 15 a 20 molhos de cebolinha e de 150 a 160 pés de alface e coentro).

Esta renda permite que a família reduza os gastos que teriam com a aquisição desses produtos e possibilita a aquisição de outros itens que não podem ser produzidos na unidade. Também vale lembrar que a introdução de novas espécies frutíferas e olerícolas nos sistemas produtivos têm proporcionado mudanças nos hábitos alimentares das famílias. Em uma comparação feita entre os diagramas de fluxos das Figuras 15 e 16, é possível perceber uma significativa evolução nos sistemas produtivos das famílias, depois das inúmeras experiências desenvolvidas a partir da construção da barragem subterrânea.

9.2.3 Situação e disponibilidade de recursos hídricos

O acesso à água sempre foi um problema para NSGA e para a maioria de agricultores familiares da região de Lagoa Seca. A propriedade possuía uma área de capoeira, tendo como única fonte de água um pequeno barreiro (Figura 17). Na época de chuvas, a água não era devidamente armazenada, se perdendo por infiltração ou escoamento superficial.

Figura 17 – Diagrama de fluxo (Mapa) - Manejo dos recursos hídricos na unidade produtiva (UPI). Lagoa Seca/PB



Fonte: elaborado por Márcia Moura Moreira.

Antes, a família percorria longas distâncias para obter água de boa qualidade em outros locais. Essa água, no entanto, era insuficiente, pois não conseguia suprir as necessidades da unidade, levando-a a buscar outras fontes para o abastecimento do sistema produtivo.

Foi realizada ampliação do barreiro que já existia, mas era pouco profundo e secava muito rápido. A sua água era usada para manter os cultivos do roçado. Em 1998, foi construída uma cisterna que até hoje abastece a família e os animais. E em 2001, com o apoio financeiro e técnico da AS-PTA, foi construída uma barragem subterrânea de 50 m de comprimento por 4 m de profundidade. Segundo a família, a barragem tem conseguido manter a produção, mesmo nos períodos de pouca chuva. A família ainda tem acesso a um poço de 59 m, com água de excelente qualidade, que mantém a produção de peixes na propriedade e ajuda a suprir as necessidades

domésticas da família. Questionada sobre a importância da barragem subterrânea para a agricultora dona da casa responde:

A barragem fez com que a família coma e venda uma variedade grande de hortaliças que não pensava ser capaz de produzir nas nossas terras.

Agricultora do Sítio Almeida, Lagoa Seca/PB

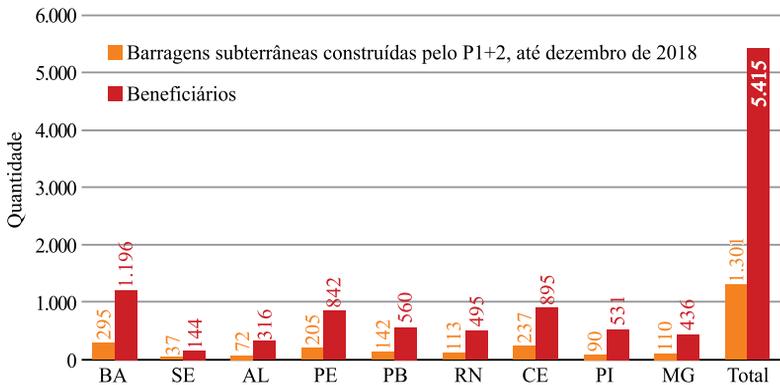
9.2.4 *Algumas reflexões oriundas do estudo de caso*

- A barragem subterrânea permitiu que plantas medicinais, olerícolas, frutas e flores saíssem dos limites do quintal e se estabelecessem na área da barragem, gerando nova renda, economia na compra de gêneros alimentícios, e promoção do resgate dos fitoterápicos;
- O manejo empregado pela família favorece a reciclagem da biomassa, através da utilização dos esterco no roçado e dos restos de culturas na alimentação animal;
- Os produtos gerados ganharam diferentes destinos: merenda escolar, restaurante popular, entrega em domicílio, Conab e feira orgânica;
- É possível afirmar que a família está se sentindo mais estimulada para compartilhar suas experiências, problemas e soluções. Vêm tentando aperfeiçoar as relações entre o que há de disponível nos sistemas para reduzir ao máximo a dependência de recursos externos.
- Deste modo, a família tem conseguido, de forma gradativa, que sua unidade produtiva adquira um alto grau de complexidade nas relações entre os subsistemas, redesenhando o agroecossistema para que este funcione de forma mais sustentável.

10 A CONTRIBUIÇÃO DA ASA NAS PESQUISAS COM BARRAGEM SUBTERRÂNEA

Articulação Semiárido Brasileiro (ASA) é uma rede com mais de quatro mil organizações da sociedade civil que trabalham para o desenvolvimento social, ecológico, econômico, cultural e político do Semiárido brasileiro. A ASA tem implantado, por meio de programas governamentais, tecnologias populares de captação e armazenamento de água de chuva para consumo humano, animal e para a produção de alimentos. Uma dessas tecnologias é a barragem subterrânea. Um dos principais programas responsáveis pela instalação de barragem subterrânea é o Programa Uma Terra e Duas Águas (P1+2) que, desde o seu surgimento, em 2007, até dezembro de 2018, construiu 1.301 barragens subterrâneas, distribuídas em todo semiárido brasileiro, conforme a Figura 17 (ASA, 2018).

Figura 18 – Distribuição de barragens subterrâneas construídas pelo P1+2 no Semiárido brasileiro, em um total de 1.301 unidades



Fonte: ASA (2018).

A ASA tem contribuído, significativamente, com as pesquisas desenvolvidas tanto pela Embrapa como pelo Instituto Nacional do Semiárido (Insa). Com a Embrapa, tem sido parceira determinante, principalmente, nas pesquisas de avaliação da sustentabilidade de agroecossistemas e de ambientes adequados para construção de barragem subterrânea. Com o

Insa, vem desenvolvendo estudos na avaliação de impactos das alternativas de convivência produtiva e sustentável com o Semiárido brasileiro

A ASA atua por meio do seu *Programa de Formação e Mobilização Social para a Convivência com o Semiárido*, que se desenvolve em dois eixos: o Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC) e o Programa Uma Terra e Duas Águas (P1+2). O P1MC consiste em dotar as famílias em toda região semiárida com água potável para beber e cozinhar, através das cisternas de placas com capacidade de 16 bilhões de litros de água. Já o P1+2 tem como objetivo fomentar a construção de processos participativos de desenvolvimento rural no Semiárido brasileiro e promover a soberania, a segurança alimentar e nutricional e a geração de trabalho e renda às famílias agricultoras, através do acesso e manejo sustentáveis da terra e da água para produção de alimentos.

A ASA, também fortalece outras iniciativas de Convivência com o Semiárido, como a troca horizontal de conhecimentos (Figura 18), a construção da agroecologia como ciência; os bancos ou casas de sementes crioulas; os fundos rotativos solidários; as cooperativas de crédito voltadas às agriculturas familiar e camponesa; a criação animal; a educação contextualizada; o combate à desertificação; entre outras.

Figura 19 – (A) Oficina de construção de conhecimentos entre agricultoras e agricultores; (B) Troca de sementes, no âmbito do Programa de Formação e Mobilização Social para a Convivência com o Semiárido.

(A)



(B)



Fotos: arquivo da Articulação Semiárido Brasileiro (ASA).

11 RECOMENDAÇÕES PARA AÇÕES DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

- Desenvolver pesquisas que forneçam documentos orientadores sobre as potencialidades e limitações de ambientes para construção de barragem subterrânea, para que venham subsidiar tomadores de decisão no estabelecimento de políticas públicas em programas de desenvolvimento agrícola sustentável (inclusão social e produtiva);
- Procurar, quando do desenvolvimento de pesquisas, sempre promover a integração com políticas em andamento que busquem suprir a demanda hídrica das populações rurais;
- Defender para que a barragem subterrânea se torne uma das alternativas tecnológicas de política do Governo Federal de Convivência com o Semiárido, de forma permanente;
- Na construção de barragens subterrâneas, levar em consideração a bacia hidrográfica e não só o local onde se está construindo;
- A equipe envolvida na implementação de tecnologias de convivência com o semiárido deve ter o conhecimento sobre outras tecnologias sociais hídricas, para poder recomendar a mais apropriada para determinado ambiente,
- Na construção de barragens subterrâneas, priorizar a estratégia de aproveitamento dos potenciais existentes na região (corpos aluviais - rios e riachos);
- Equipe técnica envolvida deve ter um olhar sistêmico para a necessidade de obras de pequeno porte e descentralizadas (tecnologias sociais), que atendam à demanda hídrica das famílias rurais isoladas (demanda difusa);
- Reafirmar a importância da Convivência com o Semiárido como estratégia de sustentabilidade para a região por meio das tecnologias sociais.

12 CONSIDERAÇÕES FINAIS E DESAFIOS

A barragem subterrânea, em conjunto com outras tecnologias sociais de captação e armazenamento de água da chuva, contribui com a soberania,

a segurança alimentar e nutricional, dessedentação animal e a geração de renda. Em consequência, contribui com a convivência com as adversidades do clima semiárido, das famílias agricultoras por proporcionar o aumento do acesso e usos da água.

No contexto das mudanças climáticas e da iminente escassez de água em nível global, fica evidente a importância da sustentabilidade das tecnologias sociais de captação, armazenamento e manejo de água da chuva, a exemplo da tecnologia descrita neste capítulo, a barragem subterrânea.

É fundamental, principalmente para a equipe técnica envolvida na construção de uma unidade produtiva de barragem subterrânea, levar em consideração a bacia hidrográfica e não só o local onde se está construindo. A construção de uma barragem subterrânea pode implicar em impactos na recarga de água à jusante, caso exista poços muito próximos do local onde se deseja construir.

A Embrapa e a ASA têm tido importante papel no desenvolvimento de pesquisas e na mobilização para a implantação de tecnologias sociais hídras que vêm proporcionando melhor convívio das famílias com a região semiárida brasileira.

Nos períodos críticos de escassez de chuvas, algumas barragens subterrâneas podem não formar reserva hídrica, mas proporcionam, quase sempre, uma colheita a mais. É o caso daquelas localizadas em linhas de drenagem com textura de arenosa a média.

Pelo poder libertador que a água propicia às mulheres e aos jovens, livrando-os dos quilômetros percorridos diariamente em buscas de água para as atividades domésticas e de consumo humano, a barragem subterrânea tem proporcionado o fortalecimento da inclusão e organização produtiva destes. Com isto, há disponibilidade de tempo para que as mulheres e os jovens possam participar de outras dinâmicas, dentro e fora da propriedade. Dinâmicas estas que os leva a se empoderar, principalmente, nas decisões socioeconômicas do agroecossistema.

A barragem subterrânea vem se caracterizando como uma tecnologia cultural orientadora que tem contribuído para o desenvolvimento da melhoria das condições de vida das famílias agricultoras e para a promoção da cidadania, por meio de iniciativas socioeconômicas e tecnológicas ambientalmente apropriadas. Com a barragem subterrânea se busca interagir com os princípios da sustentabilidade, possibilitando a harmonização entre a justiça social, a prudência ecológica, a eficiência econômica e a cidadania política.

No entanto, ainda há desafios a serem superados, e entre estes citam-se:

- Capacitar e sensibilizar técnicos e agricultores no que diz respeito aos diferentes tipos e modelos de barragens subterrâneas, consequentemente, o ambiente mais adequado a cada um deles;
- Irradiar adequadamente a tecnologia, respeitando suas limitações;
- Caracterizar as estratégias de uso e manejo da água armazenada e identificar as possibilidades de inovação para a sua otimização, valorizando o sistema de produção da família;
- Aprofundar estudos do impacto da barragem subterrânea sobre os agroecossistemas, as famílias e as comunidades nas dimensões econômica, social e ambiental;
- Intensificar estudos sobre o zoneamento de áreas com potencial para construção de barragens subterrâneas;
- Aprofundar estudos: (i) nas microbacias, de forma sistêmica, onde estão e/ou serão construídas as unidades de barragens subterrâneas; (ii) monitoramento do nível do lençol freático tanto a montante como a jusante da barragem; (iii) avaliação da capacidade de recarga da bacia hidráulica; (iv) avaliação da capacidade dos agroecossistemas resistirem e/ou se recuperarem de eventos climáticos severos como a seca ou a inundação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Banco do Nordeste do Brasil pelo apoio aos projetos por eles coordenados no tema abordado por este capítulo e às famílias que a cada projeto nos permite entrar nas suas casas e nas suas vidas com o intuito de trocarmos e construirmos conhecimentos juntos.

REFERÊNCIAS

APAYDIN, A. M. Groundwater dam: an alternative model for semi-arid regions of Turkey to store and save groundwater. **Environment Earth Science**, v.59, n.2, p: 339-345, 2009.

ASA - ARTICULAÇÃO SEMIÁRIDO BRASILEIRO. **Mapas de tecnologias**. Disponível em: <http://www.asabrasil.org.br/mapatecnologias/>
Acesso em: 08 de nov. 2018

BARBOSA, A. G.; LOPES, F.; SOUZA, J. E. de; LIMA, M. de S.; BAPTISTA, N. de Q.; BROCHARDT, V. **Caminhos para a convivência com o Semiárido**. 14. ed. Recife: ASA, 2014. 36 p.

BARBOSA, E. M. Água doce: direito fundamental da pessoa humana. **Revista Âmbito Jurídico**, Rio Grande, XI, n. 58, out. 2008. Disponível em: <http://www.ambito-juridico-juridico.com.br/site/index.php?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=3172>. Acesso em: dez. 2016.

BARBOSA, F. R.; SILVA, C. S. B. da; CARVALHO, G. K. de L. **Uso de inseticidas alternativos no controle de pragas agrícolas**. Petrolina, PE: Embrapa Semi-Árido, 2006. 47 p. (Embrapa Semi-Árido. Documentos, 191).

BARLOW, B.; CLARKE, T. **Ouro azul**. São Paulo: Makron Books, 2003.

BENVENUTO, C.; POLLA, C. M. Aspectos geotécnicos do projeto de construção de barragens subterrâneas no Nordeste. In CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 7. Recife, 1982. **Anais...**, Recife, 1982.

BOTELHO, A. R.; BARBOSA, A. G.; RIBEIRO, C. A.; FLAVIO, G. **Barragem subterrânea**. Recife: ASA, 2011. 23 p. (ASA Brasil. Tecnologias sociais para convivência com o Semiárido. Série Estocagem de Água para produção de alimentos).

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano Nacional de Recursos Hídricos**. Brasília, DF, Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/>>. Acesso em: 25 abr. 2010.

_____. Secretaria de Recursos Hídricos. **Plano Nacional dos Recursos Hídricos**: iniciando um processo debate nacional. Brasília, 2004.

_____. Secretaria dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Política Nacional de Recursos Hídricos. **Lei nº 9.433**, de 08 de janeiro de 1997. Brasília, 1997.

BRITO, L. T. de L. **Barragem subterrânea I**: construção e manejo. Embrapa-CPATSA, 1989, 38 p. il (Embrapa- CPATSA. Boletim de pesquisa, 36).

BRITO, L. T. de L.; SILVA, M. S. L. da; ANJOS, J. B. dos; OLIVEIRA NETO, M. B. de; BARBOSA, A. G. Tecnologias de captação, manejo e uso da água de chuva no setor rural. In: SANTOS, D. B. dos; MEDEIROS, S. de S.; BRITO, L. T. de L.; GNADLINGER, J.; COHIM, E.; PAZ, V. da S.; GHEYI, H. R. (ed). **Captação, Manejo e Uso de Água de Chuva**, Campina Grande, PB: INSA. cap. 11, p. 253-257, 2015.

BROWN, L.; FLAVIN, C.; FRENCH, H. **Estado mundo 2000**. Tradução. H. Mallett. Salvador: UMA Editora, 2000.

CAVALCANTI, A.; LINS, F. E.; FARIAS JÚNIOR, M.; MORAIS, V. de M. **Barragem subterrânea: um jeito inteligente de guardar água na terra**. Recife: Diaconia, 2006. 46 p. (Diaconia. Série Recursos Hídricos).

CIRILO, J. A.; ABREU, G. H. F. G. de; COSTA, M. R.; GOLDEMBERG, D.; COSTA, W. D. Soluções para o suprimento de água em comunidades rurais difusas no Semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 4, p. 5-24, 2003.

CONTI, M. **El agua en la agricultura**. Tratado de hidrología agrícola. Buenos Aires: UBA FAYV, 1938.

COSTA, W. D. **Manuel de Barragens subterrâneas**. Recife: UFPE, 1997 (Apostila).

COSTA, W. D. Estudo dos aluviões do Rio Pajeú visando a implantação de barragens subterrâneas. In: Simpósio de Hidrogeologia do Nordeste, 3., 1998. Recife, PE. **Anais...** Recife: ABAS/PE, 1998. p. 149 - 157.

COSTA, W. D.; CIRILO, J. A.; ABREU, H. F. G.; COSTA, M. R. Monitoramento das barragens subterrâneas no Estado de Pernambuco. In: V SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE. – ABRH/LARHISA, Natal: 2000. **Anais em CD**. (2000).

COSTA, W. D. Barragens subterrâneas: conceitos básicos, aspectos locacionais e construtivos. In: CABRAL, J. J. S. P.; FERREIRA, J. P. C. L.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; COSTA, W. D. (Org.). **Água subterrânea: aquífero costeiro e aluviões, vulnerabilidades e aproveitamento**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2004, v.1, Cap. 1, p.13-59.

FREITAS, I. M. de. **Efeitos ambientais de barragem subterrânea na microbacia do córrego Fundo, região dos Lagos/RJ**. 2006. 112 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) - Universidade Federal Fluminense.

HANSON, G.; NILSSON, A. Ground-water dams for rural-water supplies in developing countries. **Ground Water**, v. 24, n. 4, p. 497-506, 1986.

IBGE. **Censo Agropecuário 2006**. Agricultura familiar. Primeiros Resultados. Brasil, Grandes Regiões e Unidades da Federação. Brasília/Rio de Janeiro: MDA/MPOG, 2009.

IPT. INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICA DE SÃO PAULO. **Levantamento das potencialidades para implantação de barragens subterrâneas no Nordeste**: bacias dos Rios Piranhas-Açu, RN e Jaguaribe, CE. São Paulo: IPT, 1981. (Relatório 14.887).

ISHIDA, S.; KOTURU, M.; ABE, E.; FAZAL, M. A.; TSUCHIHARA, T.; IMAIZUMI, M. Construction of subsurface dams and their impacts on the environment. **Materials and Geoenvironment Journal**, v. 50, n. 1, p. 149-152, 2003.

LIMA, A. O. **Manejo sustentável da água: construindo barragens subterrâneas**. 2. ed. Natal: Visão Mundial. 45 p, 2007.

LIMA, A. de O. **Nova abordagem metodológica para locação, modelagem e monitoramento de barragens subterrâneas no semiárido brasileiro**. Natal: UFRN, 2013. 248 f. Tese (Tese em Geodinâmica e Geofísica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

LIMA, A. de O.; DIAS, N. da S.; FERREIRA NETO, M.; SANTOS, J. E. J. dos; REGO, P. R. de A.; LIMA-FILHO, F. P. Barragens subterrâneas no Semiárido brasileiro: análise histórica e metodologias de construção. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 2, p. 200-211, 2013 (Nota Técnica).

LIMA, A. de O.; LIMA-FILHO, F. P.; DIAS, N. da S.; REIS JÚNIOR, J. A. dos; SOUSA, A. de M. GPR 3D Profile of the adequateness of underground dams in a sub-watershed of the brazilian semiarid. **Revista Caatinga**, Mossoró/RN, v. 31, n. 2, p. 523 – 531, 2018.

MELO, R. F. de; ANJOS, J. B. dos; PEREIRA, L. A.; BRITO, L. T. de L.; SILVA, M. S. L. da. **Barragem subterrânea**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011. 2 p. (Embrapa Semiárido. Instruções Técnicas, 96).

MELO, R. F. de; ANJOS, J. B. dos; SILVA, M. S. L. da; PEREIRA, L. A.; BRITO, L. T. de L. **Barragem Subterrânea**: tecnologia para armazenamento de água e produção de alimentos. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2013. 8p. (Embrapa Semiárido. Circular Técnica, 104).

MONTEIRO, L. C. Barragem subterrânea: uma alternativa para suprimento de água na região semiárida. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 3., 1984, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: DNOCS, 1984. v.1, p. 421-430.

NASCIMENTO, A. F. do; SILVA, M. S. L. da; MARQUES, F. A.; OLIVEIRA NETO, M. B. de; PARAHYBA, R. da B.V.; AMARAL, A. J. **Caracterização Geoambiental em Áreas com Barragem Subterrânea no Semiárido Brasileiro**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; Recife: Embrapa Solos UEP Recife, 2015. 54p. (Documentos / Embrapa Solos).

OLIVEIRA, J. B. de; ALVES, J. J.; FRANÇA, F. M. C. **Barragem subterrânea. Fortaleza: Secretaria dos Recursos Hídricos**. Fortaleza: Secretaria dos Recursos Hídricos, 2010. 31p. v 3 (Cartilhas temáticas tecnologias e práticas hidroambientais para convivência com o Semiárido,3).

OLIVEIRA, A. M. S.; LEITE, C. A. G. **Tecnologia simples para aproveitamento de pequeno porte dos recursos hídricos do semiárido nordestino**. IPT. São Paulo, 1984.

PONÇANO, W. L. Barragens subterrâneas no Ceará e Rio Grande do Norte: uma alternativa tecnológica para o abastecimento de água no semiárido. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 3, 1981, Itapema, **Anais...**, Itapema: ABGE, v. 1, 1981, p. 301/321.

RAIN. A practical guide to sand dam implementation water supply. **Relatório técnico**. 2008. 39.p

RAJU, N.J.; REDDY, T.V.K.; MUNIRATHNAM, P.2006. Subsurface dam to harvesting rainwater.A case study of the Swarnmukhi river basin, Souther India. **Hydrogeology Journal**, United Kingdom, v. 14, n. 4, p. 526-531, 2006.

ROCHA, J. C. da; ANDRADE, L. I. de; FREIRE, A. G.; ARRAES, M.F.; SILVEIRA, L.M. da; SILVA, M. R. da; MENEZES, R. S. C.; PETERSEN, P. F. Barrando água e terra na propriedade. In: MENEZES, R. S. C.; PETERSEN, P. F. Água das chuvas: promovendo vida no semi-árido. Recife: Ed. Universitária da UFRPE, 2007. p.11-13. il. (Experiências em Agroecologia. Agricultura familiar no Semi-Árido; 1).

SANTOS, J. P.; FRANGIPANI, A. Barragens submersas - uma alternativa para o Nordeste brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 2, São Paulo, SP. **Anais...** São Paulo: ABGE, v. 1, p.119-126, 1978.

SANTOS, M. O.; FREITAS, I. M de; BRITO, L. T. de L.; ANJOS, J. B. dos. **Barragem subterrânea: água para uso na agricultura**. Niterói, RJ: Programa Rio Rural, 2008. 13 p. (Programa Rio Rural. Manual Técnico, 17).

SILVA, D. A.; REGO NETO, J. Avaliação de barragens submersíveis para fins de exploração agrícola no semiárido. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, Natal- RN, **Anais...**, Natal: ABGE, v. 1, p. 335-361, 1992.

SILVA, F. B. R. e; RICHÉ, G. R.; TONNEAU, J. P.; SOUZA NETO, N. C. de; BRITO, L. T. de; CORREIA, R. C.; CAVALCANTI, A. C.; SILVA, F. H. B. B. da; SILVA, A. B. da; ARAÚJO FILHO, J. C. de; LEITE, A. P. **Zoneamento agroecológico do Nordeste do Brasil: diagnóstico do quadro natural e agrossocioeconômico**. Recife: Embrapa Solos – Escritório Regional de Pesquisa e Desenvolvimento Nordeste – ERP/NE; Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2000. 1 CDROM. (Embrapa Solos. Documentos, 14).

SILVA, F. F. **Investigação e modelamento do fluxo subterrâneo em aquífero aluvial no semiárido da Paraíba**. Laboratório de Hidráulica - DEC/CCT/UFPB. 109 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos). Campina Grande, 1998.

SILVA, M. S. L. da; ANJOS, J. B. dos; FERREIRA, G. B.; MENDONÇA, C. E. S.; SANTOS, J. C. P.; OLIVEIRA NETO, M. B. de. **Barragem subterrânea: uma opção de sustentabilidade para a agricultura familiar do semi-árido do Brasil**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2007a. 10p. (Embrapa Solos. Circular Técnica,36).

SILVA, M. S. L. da; HONÓRIO, A. P. M.; ANJOS, J. B.; PORTO, E. R. **Barragem subterrânea**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2001. Não paginado. il. (Embrapa Semi-Árido. Instruções Técnicas, 49).

SILVA, M. S. L da; MENDOÇA, A. E. S.; ANJOS, J. B.; HONÓRIO, A. P. M.; SILVA, A. S.; BRITO, L. T. L. Barragem subterrânea: água para produção de alimentos. In: BRITO, L. T. L.; MOURA, M. S. B.; GAMA, G. F. (Org.). **Potencialidades da água de chuva no Semiárido brasileiro**. Petrolina, PE: Embrapa Semi-Árido, 2007b. p. 121-137.

SILVA, M. S. L da; MENDOÇA, A. E. S.; NERI, F. N.; OLIVEIRA NETO, M. B. de; PARAHYBA, R. P. da B.; SANTOS, J. C. P dos; CUNHA, T. J. F.; SOUZA, B. A. de. **Barragem Subterrânea: Experiências no Território do Sertão do Araripe, Estado de Pernambuco**. Recife: Embrapa Solos: 2010c. 4p. (Embrapa Solos. Circular, 58).

SILVA, M. S. L da; OLIVEIRA NETO, M. B. de; FERREIRA, G. B.; MOREIRA, M. M.; MENDES, A. M. S.; CUNHA, T. J. F.; SANTOS, J. C. P dos; PARAHYBA, R. P. da B.; ANJOS, J. B.; MATIAS, J. A.; ROCHA, J. C. **Atributos físicos e químicos de solos em áreas de barragens subterrâneas no Agreste e no Planalto da Borborema, Estado da Paraíba**. Recife: Embrapa Solos: 2010b.10p. (Embrapa Solos. Circular, 47).

SILVA, M. S. L. da; OLIVEIRA NETO, M. B. de; PARAHYBA, R. da B. V.; MELO, R. F. de; ANJOS, J. B. dos; CUNHA, T. J. F.; FERREIRA, G. B.; BARBOSA, A. G. **Barragem subterrânea: contribuindo com o desenvolvimento rural sustentável do Semiárido brasileiro**. Recife: Embrapa Solos, 2012.10p.(Embrapa Solos. Cartilha).

SILVA, M. S. L. da; PARAHYBA, R. P. da B.; OLIVEIRA NETO, M. B. de; ANJOS, J. B.; CUNHA, T. J. F.; CARDOSO, L. B.; MOTA, C. L. **Avaliação da Qualidade da Água para fins de Irrigação em Áreas de Barragens Subterrâneas no Semiárido do Nordeste Brasileiro**. Recife: Embrapa Solos: 2011.6p. (Embrapa Solos. Circular, 64).

SILVA, M. S. L. da; PARAHYBA, R. P. da B.; OLIVEIRA NETO, M. B. de; LEITE, A. P.; SANTOS, J. C. P dos; CUNHA, T. J. F.; MOREIRA, M. M.; FERREIRA, G. B.; ANJOS, J. B.; MELO, R. F. de. **Potencialidades de classes de solos e critérios para locação de barragens subterrâneas no Semiárido do Nordeste brasileiro**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010a. 7p. il. (Embrapa Solos. Circular Técnica, 45).

SILVA, S. R. da. **Bacias hidrográficas de Pernambuco**. Recife: SECTMA, 2006. 1 CD-ROM.

SENTHILKUMAR, M; ELANGO, L. Modelling the impact of a subsurface barrier on groundwater flow in the lower Palar River basin, southern India. **Hydrogeology Journal, Hudson**. V. 19, n. 4, p. 917-928, 2011.

TIGRE, C. B. Barragens subterrâneas e submersas como meio rápido e econômico de armazenamento d'água. **Anais do Instituto Nordeste**, 1949, p. 13-29.