

Caracterização Geoambiental em Áreas com Barragem Subterrânea no Semiárido Brasileiro



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Solos
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

Documentos 180

Caracterização Geoambiental em Áreas com Barragem Subterrânea no Semiárido Brasileiro

*Alexandre Ferreira do Nascimento
Maria Sonia Lopes da Silva
Flávio Adriano Marques
Manoel Batista de Oliveira Neto
Roberto da Boa Viagem Parahyba
André Julio do Amaral*

Embrapa Solos
Rio de Janeiro, RJ
2015

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Solos

Endereço: Rua Jardim Botânico, 1024. Jardim Botânico

CEP: 22460-000 - Rio de Janeiro, RJ

Fone: + 55 (21) 2179-4500

Fax: + 55 (21) 2179-5291

<https://www.embrapa.br>

<https://www.embrapa.br/fale-conosco/sac/>

Comitê Local de Publicações da Embrapa Solos

Presidente: *José Carlos Polidoro*

Secretário-Executivo: *Jacqueline S. Rezende Mattos*

Membros: *Ademar Barros da Silva, Adriana Vieira de C. de*

Moraes, Alba Leonor da Silva Martins, Enyomara Lourenço Silva,

Evaldo de Paiva Lima, Joyce Maria Guimarães Monteiro, Luciana

Sampaio de Araujo, Maria Regina Laforet, Maurício Rizzato

Coelho, Moema de Almeida Batista

Supervisão editorial: *Jacqueline S. Rezende Mattos*

Revisão de texto: *Enyomara Lourenço Silva*

Normalização bibliográfica: *Enyomara Lourenço Silva*

Editoração eletrônica: *Moema de Almeida Batista*

Foto da capa: *Maria Sonia Lopes da Silva*

1ª edição

On-line (2015)

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Solos

Caracterização geoambiental em áreas de barragens subterrâneas no Semiárido brasileiro / Alexandre Ferreira do Nascimento ... [et al.]. – Dados eletrônicos. – Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos; Recife, PE: Embrapa Solos UEP Recife, 2015.

54 p.: il. color. - (Documentos / Embrapa Solos. ISSN 1517-2627 ; 180).

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: <<https://www.embrapa.br/solos/publicacoes>>.

Título da página da Web (acesso em 20 de dezembro de 2015).

1. Captação de água de chuva. 2. Relevo. 3. Solo. 4. Geologia. 5. Agricultura Familiar. I. Nascimento, Alexandre Ferreira do. II. Silva, Maria Sonia Lopes da. III. Marques, Flávio Adriano. IV. Oliveira Neto, Manoel Batista de. V. Parahyba, Roberto da Boa Viagem. VI. Amaral, André Julio do. VII. Título. VIII. Série.

CDD 333.91

© Embrapa 2015

Autores

Alexandre Ferreira do Nascimento

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop, MT.

Maria Sonia Lopes da Silva

Engenheira-agrônoma, doutora em Ciência do Solo, pesquisadora da Embrapa Solos-UEP Recife, PE.

Flávio Adriano Marques

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Pesquisador da Embrapa Solos-UEP Recife, PE.

Manoel Batista de Oliveira Neto

Engenheiro-agrônomo, mestre em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Solos-UEP Recife, PE.

Roberto da Boa Viagem Parahyba

Engenheiro-agrônomo, doutor em Geografia, Pesquisador da Embrapa Solos-UEP Recife, PE.

André Julio do Amaral

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Solos-UEP Recife, PE.

Agradecimentos

Ao Instituto Ambiental Brasil Sustentável (IABS), às famílias agricultoras pela cessão de suas áreas e participação na execução desta pesquisa, à Embrapa Semiárido e à Articulação Semiárido Brasileiro - ASA, por meio de suas instituições associadas - na Paraíba: Patac e AS-PTA; em Pernambuco: Caatinga, Cáritas Diocesana de Pesqueira, Cecor; em Alagoas, Catus-AL; na Bahia: Irapaa, pela parceria.

“Chuva cai abençoada, molha nossa terra arada,
Faz essa semente brotar frutos para a vida,
Faz nossa gente mais feliz...”

Chuva no Sertão - Donaldo Santos Junior

“A barragem subterrânea guarda a água da chuva
dentro da terra, aumentando a chance do meu roçado vingar.”

Agricultor Sebastião Dasmasceno
Fazenda Fundão, Santana do Ipanema, AL - 2014

Apresentação

O grande potencial da barragem subterrânea na democratização do acesso à água vem proporcionando a inclusão social e produtiva das famílias agricultoras da região, e garantindo a sua permanência no meio rural.

Diversas experiências com barragens subterrâneas foram implantadas, principalmente na região Semiárida brasileira, sobretudo por meio de políticas públicas e, hoje, são sem dúvida uma alternativa tecnológica que reduz os riscos de perdas de safra, devido à irregularidade das chuvas, contribuindo para a produção de alimentos e dessedentação animal.

A Embrapa Solos por meio da equipe lotada na sua Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento, no Recife, PE, tem compartilhado conhecimentos que ampliam e dinamizam as atividades agropecuárias relacionadas ao solo e à água no Nordeste brasileiro. A partir de 2007, vem desenvolvendo ações de P&D no âmbito da barragem subterrânea, visando a contribuir com desenhos de estratégias de mitigação e adaptação apropriadas às mudanças climáticas na região.

Fruto do diálogo entre a Embrapa, as famílias agricultoras, sociedade civil e a extensão, este documento disponibiliza informações sobre características geoambientais de algumas unidades de barragens subterrâneas. Podendo constituir fonte de consulta no processo de locação, uso e manejo de barragens subterrânea, bem como de entendimento da dinâmica do funcionamento dessa tecnologia, contribuindo assim, para o aumento ao acesso e usos da água em agroecossistemas de base familiar da região semiárida brasileira.

Daniel Vidal Pérez

Chefe-geral da Embrapa Solos

Sumário

Ambiente Semiárido e as técnicas de captação e armazenamento de água de chuva	13
Embrapa Solos e a barragem subterrânea	14
Aspectos técnicos da barragem subterrânea	14
Justificativa e objetivos do estudo.....	16
Localização geográfica das barragens subterrâneas estudadas	16
Estudos realizados	17
Resultados obtidos	19
Considerações finais	33
Referências	34
Anexo I - Barragens subterrâneas na Bahia	37
Anexo II - Barragens subterrâneas em Alagoas	41
Anexo III - Barragens subterrâneas em Pernambuco	45
Anexo IV - Barragens subterrâneas na Paraíba	51

Caracterização Geoambiental em Áreas com Barragem Subterrânea no Semiárido Brasileiro

Alexandre Ferreira do Nascimento

Maria Sonia Lopes da Silva

Flávio Adriano Marques

Manoel Batista de Oliveira Neto

Roberto da Boa Viagem Parahyba

André Julio do Amaral

Ambiente Semiárido e as técnicas de captação e armazenamento de água da chuva

O ambiente Semiárido brasileiro tem como peculiaridade a forte restrição hídrica, com regime pluviométrico de 400 a 800 mm anuais e chuvas irregulares concentradas em 2 a 3 meses do ano. Isto implica na necessidade das comunidades inseridas nesses ambientes adotarem técnicas diversas para captar e armazenar água das chuvas, destinadas tanto para o consumo (humano e animal) quanto para o uso agrícola (JAMALI et al., 2013). Assim, no Semiárido têm sido construídas barragens (de acumulação superficial e subterrânea), cisternas, barreiros convencionais, barreiros trincheiras, tanques de pedra, entre outras tecnologias, com a finalidade de coleta, acúmulo e estocagem das águas de precipitações pluviais, reduzindo os efeitos dos longos períodos de estiagem em áreas de agricultura familiar (SILVA et al., 2008). No presente documento, o objeto de estudo é a barragem subterrânea (BS).

Embrapa Solos e a barragem subterrânea

Desde 2007 a Embrapa Solos vem desenvolvendo pesquisas com BS no Semiárido do Nordeste brasileiro, por intermédio da sua Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento (UEP) de Recife, implantando algumas unidades, realizando diagnósticos e avaliando a sustentabilidade socioeconômica e ambiental de agroecossistemas que possuem em seu sistema produtivo unidades de BSs.

Nos últimos anos, com a implantação dos vários programas dos governos municipais, estaduais e federal, visando o enfrentamento da escassez hídrica, houve uma disseminação significativa da tecnologia barragem subterrânea para além do Semiárido brasileiro. É o caso do Rio de Janeiro, na região dos Lagos, nos municípios de Iguaba Grande e São Pedro da Aldeia, e no Norte Fluminense, em Quissamã, que possuem BSs instaladas pela Pesagro-Rio em parceria com a Emater-Rio.

Na barragem subterrânea implantada na microbacia Brejo da Piedade, em Quissamã, em uma Unidade de Pesquisa Participativa (UPP) do Programa Rio Rural, a Embrapa Solos vem desenvolvendo estudos de avaliação de impacto desde 2010. Os resultados apontam que após a implantação dessa BS, a família tem conseguido, além da produção de alimentos e forragem, a recuperação das áreas de várzeas (DIAS et al., 2014), comprovando que a BS, além de proporcionar a soberania e segurança alimentar e nutricional às famílias, favorece a conservação ambiental.

Aspectos técnicos da barragem subterrânea

Essa técnica consiste na construção de uma parede impermeável (septo), no sentido transversal à descida das águas, que impede o movimento natural descendente de água do solo e da superfície em uma linha de drenagem, rio ou riacho, promovendo assim seu

armazenamento no espaço poroso do solo, que pode ser utilizada para cultivos “in situ” ou para irrigar áreas “ex situ” ou para a dessedentação dos animais (ONDER; YILMAZ, 2005; SILVA et al., 2007).

Entre as vantagens que as barragens subterrâneas apresentam merecem destaque a sua maior funcionalidade, baixo custo de construção, menor risco de contaminação, baixa perda de água por evaporação, além da possibilidade de utilização de suas terras para cultivos diversos (JHA et al., 2009; NILSSON, 1988).

Os locais para a instalação de barragens subterrâneas devem ser escolhidos com base principalmente nas características do relevo, do solo, da geologia e do clima (FORZIERI et al., 2008; JAMALI et al., 2013). Dentre as características do relevo importantes nesta escolha estão a declividade longitudinal e o posicionamento dentro da bacia hidrográfica, que influenciam no volume de água captada e de recarga e, conseqüentemente, no tipo de materiais utilizados para a construção da parede de impermeabilização e do sangradouro na linha de drenagem (FORZIERI et al., 2008; TALEGHALI; TALABAKHSHI, 2013). Outro parâmetro importante do relevo e que tem impacto direto nos custos das BSs é a morfologia do relevo local onde se pretende construir uma unidade de BS, que pode apresentar formato de “U”, exigindo uma parede maior, conseqüentemente gerando mais custos do que a morfologia em formato de “V” (TALEGHALI; TALABAKHSHI, 2013).

Recomenda-se a construção de BSs em solos aluviais de textura média a arenosa, não salinos e que possuem camada impermeável que ocorrem a uma profundidade de no máximo 4 - 4,5 m, segundo modelo Embrapa (MELO et al., 2013; SILVA et al., 2008). O embasamento rochoso também deve ser considerado na escolha de locais adequados para a construção das BSs, devendo ser priorizadas rochas impermeáveis e sem fraturas ou falhas, as quais podem levar à perda de água do barramento (DORFESHAN et al., 2014; FORZIERI et al., 2008).

Justificativa e objetivos do estudo

Nas barragens subterrâneas do Semiárido brasileiro pouco são os trabalhos descrevendo as características geoambientais das áreas de instalação dessa tecnologia. Assim, o objetivo desse trabalho foi descrever as características locais, a localização nas bacias hidrográficas, as áreas de captação de água de chuva, a geologia e classes de solos de BSs instaladas no Semiárido dos estados da Bahia, Alagoas, Pernambuco e Paraíba, visando subsidiar o planejamento na escolha de novas áreas para a instalação e o seu uso e manejo.

Localização geográfica das barragens subterrâneas estudadas

O trabalho foi desenvolvido em 14 barragens subterrâneas localizadas no Semiárido de quatro estados da região Nordeste do Brasil: Bahia, Alagoas, Pernambuco e Paraíba (Figura 1), em áreas de agricultura de base familiar (Anexos de 1, 2, 3 e 4). Cada BS foi identificada com a inicial do nome da agricultora/agricultor ou da cidade, seguido da sigla do respectivo estado a que pertence.

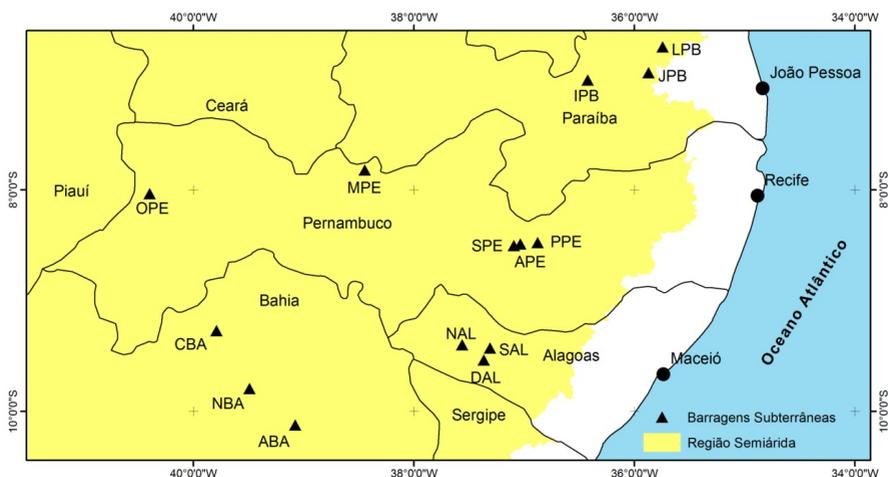


Figura 1. Distribuição das barragens subterrâneas estudadas no Semiárido de quatro estados no Nordeste brasileiro.

Estudos realizados

Identificação das barragens subterrâneas

A caracterização das BSs foi efetuada a partir de diagnóstico realizado por meio de monitoramento e coletas de informações entre outubro de 2013 a novembro de 2014. As coordenadas geográficas de cada BS são apresentadas na Tabela 1 e foram utilizadas para entender a distribuição das BSs nos geoambientes identificados no Zoneamento Agroecológico do Nordeste - ZANE (SILVA et al., 1993).

Tabela 1. Identificação, municípios/estados e coordenadas geográficas das barragens subterrâneas estudadas nos anos de 2013 e 2014.

Barragem	Município/Estado	Coordenadas Geográfica	
		Latitude (S)	Longitude (W)
ABA	Canudos, BA	10° 7' 26,84"	39° 4' 35,60"
CBA	Curaçá, BA	9° 16' 19,08"	39° 47' 29,18"
NBA	Uauá, BA	9° 47' 35,37"	39° 29' 31,19"
DAL	São José da Tapera, AL	9° 32' 9,80"	37° 21' 53,21"
SAL	Santana do Ipanema, AL	9° 25' 43,59"	37° 18' 33,10"
NAL	Senador Rui Palmeira, AL	9° 23' 59,95"	37° 33' 40,53"
SPE	Buíque, PE	8° 30' 8,63"	37° 5' 35,71"
OPE	Ouricuri, PE	8° 1' 58,11"	40° 23' 51,23"
MPE	Serra Talhada, PE	7° 49' 14,14"	38° 26' 44,35"
APE	Arcoverde, PE	8° 29' 19,54"	37° 2' 1,18"
PPE	Pedra, PE	8° 28' 37,17"	36° 52' 32,41"
JPB	Remígio, PB	6° 56' 31,80"	35° 52' 13,80"
LPB	Solânea, PB	6° 42' 33,20"	35° 44' 31,95"
IPB	Soledade, PB	7° 0' 32,28"	36° 25' 22,29"

Características morfométricas do relevo

Algumas variáveis morfométricas do relevo foram obtidas para a caracterização dos ambientes de construção das BSs. A altitude em relação ao nível médio do mar e a área útil de cada uma das barragens foram obtidas com o auxílio de um GPS. Além dessas variáveis foram obtidas as seguintes:

- **Localização nas bacias hidrográficas**

O posicionamento geográfico das BSs foi inserido nas linhas de drenagem extraídas automaticamente do Modelo Digital de Elevação (MDE) do SRTM com auxílio do ArcGIS 10.1 (TARBOTON et al., 1991; TARBOTON, 1997), permitindo entender a distribuição das BSs nas suas respectivas bacias hidrográficas.

- **Área de captação de cada barragem subterrânea**

Também com auxílio do sistema de informações geográficas (ArcGIS), as linhas de drenagem, juntamente com a direção do fluxo de água extraída do MDE, foram utilizadas para se obter a área de captação de cada barragem (DOMINGUE; JENSON, 1988), a qual corresponde à área capaz de fornecer escoamento à barragem (VALERIANO, 2008).

- **Declividade longitudinal média**

Do Modelo Digital de Elevação também foi obtido o perfil topográfico longitudinal de cada BSs, desde a cabeceira da bacia hidrográfica até o local de sua construção, o que permitiu calcular a declividade longitudinal média (VALERIANO, 2008).

- **Declividade local**

A declividade local foi calculada medindo-se o desnível entre o início e o fim da área útil da BS com auxílio de um nível topográfico ótico.

Descrição de classes de solos

Dentro da área de influência de cada BS foi aberta uma trincheira, na qual foi realizada a descrição morfológica e coletadas amostras de solo por horizonte (SANTOS et al., 2013a). As amostras foram levadas ao laboratório para análises químicas e físicas de rotina (CLAESSEN et al., 1997). Os resultados das análises laboratoriais foram interpretados e, juntamente com a descrição morfológica de campo, os solos foram classificados até o quarto nível categórico (SANTOS et al., 2013b).

Resultados obtidos

Descrição geral das barragens subterrâneas

As barragens subterrâneas estudadas estão inseridas principalmente em dois grandes geoambientes mapeados na região Nordeste (SILVA et al., 1993) (Figura 2). As barragens subterrâneas OPE, MPE, DAL, CBA, NBA e ABA estão inseridas na Depressão Sertaneja, apresentando relevo predominantemente suave-ondulado, solos rasos, precipitação pluvial baixa e mal distribuída, baixo e muito baixo potencial de águas subterrâneas (SILVA et al., 1993).

Enquanto que as barragens subterrâneas IPB, JPB, LPB, SPE, PPE, APE, NAL e SAL estão inseridas do geoambiente Planalto da Borborema, caracterizada por apresentar relevo declivoso, solos poucos profundos, precipitação pluvial entre 400 e 650 mm anuais e baixo potencial de água subterrâneas, em sua maioria salina (SILVA et al., 1993).

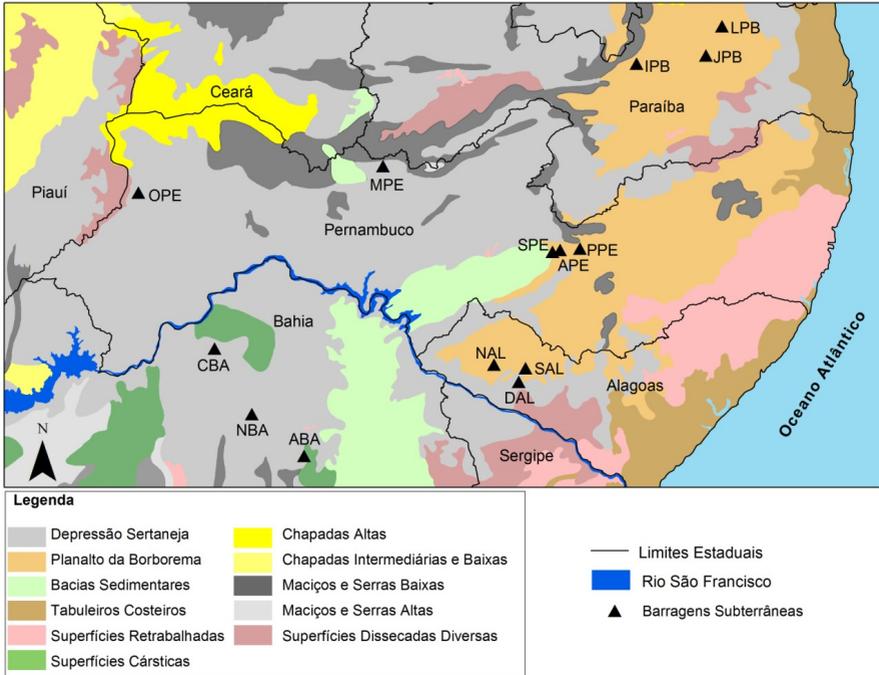


Figura 2. Distribuição das barragens subterrâneas estudadas nos geoambientes do Nordeste brasileiro.

Fonte: adaptado de Silva et al. (1998).

Uma característica comum a todas as BSs é a localização em áreas sob domínio de rochas do embasamento cristalino do Pré-Cambriano. As rochas cristalinas imprimem uma condição peculiar de baixo potencial em se obter águas subterrâneas por meio de abertura de poços artesianos, principalmente devido à baixa porosidade das rochas, que somada a sua composição química rica em sais (sódio e potássio), tornam aquelas águas impróprias para determinados usos, como na dessedentação animal, na irrigação e no consumo humano (MIRANDA et al., 2014). As águas subterrâneas acima mencionadas se relacionam àquelas acessadas com abertura de poços artesianos. Dessa forma, pela baixa vocação das áreas de embasamento cristalino para poços artesianos com água de boa qualidade, se torna imprescindível o uso de tecnologias de captação e armazenamento de

água das chuvas (superficial e subterrânea), para um melhor convívio das famílias com o clima semiárido nessas áreas.

Embora as barragens subterrâneas ABA e CBA estejam inseridas em ambiente sob domínio de rochas cristalinas, ressalta-se sua proximidade aos ambientes de rochas calcárias, as quais podem compor as áreas de captação das BSs, influenciando nos sedimentos, nos solos e na sua dinâmica hídrica.

Características morfométricas

Na Figura 3 são apresentadas as barragens subterrâneas nas linhas de drenagem de suas respectivas bacias hidrográficas. Todas as barragens estão instaladas nas cabeceiras das bacias hidrográficas em linhas de drenagem de primeira ou segunda ordem, o que tem implicação direta principalmente na hidrologia e na dinâmica de recarga. Por se localizarem nas cabeceiras de bacias hidrográficas, as linhas de drenagem onde estão instaladas as BSs apresentam menores fluxos quando comparados aos pontos mais a jusante da drenagem principal, resultando em um volume de água menor que chega até a BS. Isso influencia na escolha do tipo de material a ser utilizado na construção do septo/parede, que interrompe os fluxos descendentes de água.

Nas linhas de drenagem de primeira ordem, as quais são rotuladas com o número 1, se concentra grande parte das BSs (Figura 4). Estas linhas de drenagem, de menor volume de água em relação aquelas a jusante, são observadas tanto nas cabeceiras das bacias hidrográficas, quanto nas cabeceiras de afluentes, onde também foram observadas BSs.

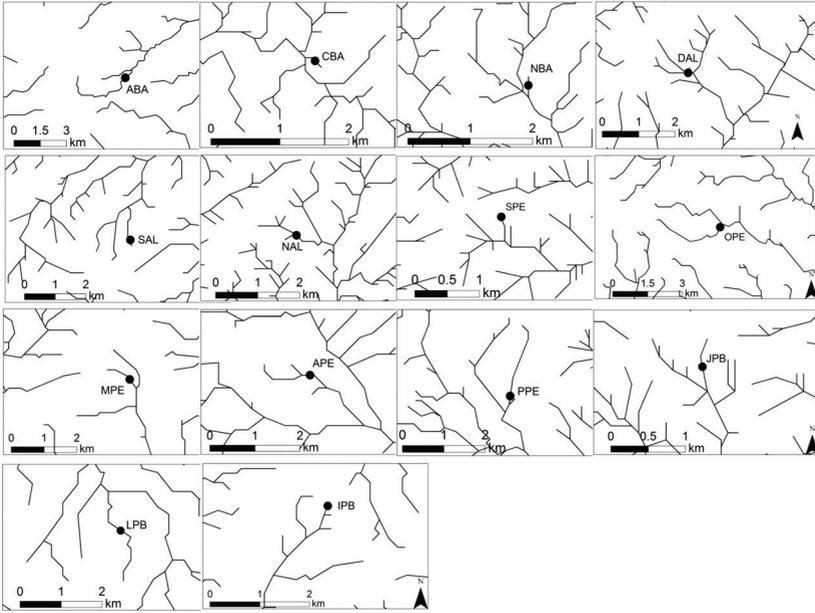


Figura 3. Localização das barragens subterrâneas estudadas em suas respectivas bacias hidrográficas.

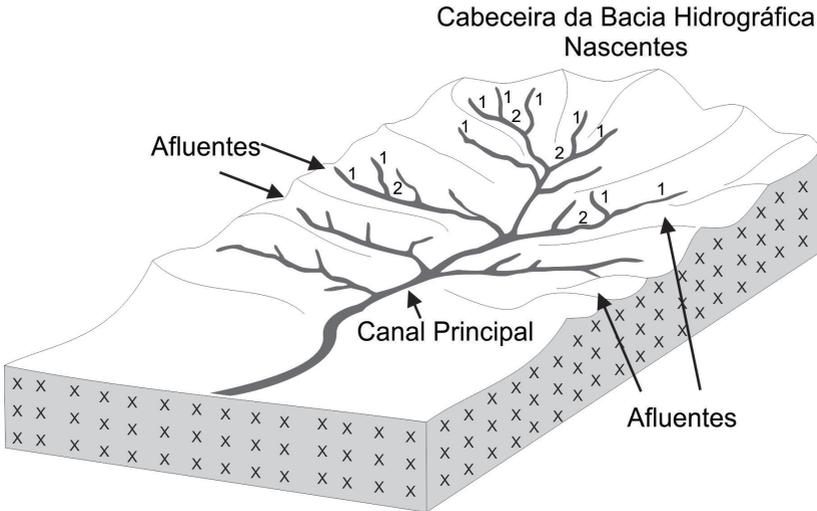


Figura 4. Bacia hidrográfica hipotética mostrando linhas de drenagem de primeira e segunda ordem em suas cabeceiras e seus afluentes. 1 - Linhas de drenagem de primeira ordem; 2 - Linhas de drenagem de segunda ordem.

Se um maior detalhe for aplicado nestas linhas de drenagem de primeira ordem das cabeceiras das bacias hidrográficas onde foram construídas as barragens subterrâneas, será possível observar características de relevo conforme ilustradas na Figura 5. Toda a área a montante da linha de drenagem onde foi construída a barragem subterrânea é chamada de área de captação, assim denominada porque esta contribui para a quantidade de água e de sedimentos que chegam à BS. Assim, a água proveniente das chuvas que ocorrem dentro do perímetro da área de captação da BS é armazenada no solo ou conduzida superficialmente ou subsuperficialmente até a linha de drenagem que alimenta a BS.

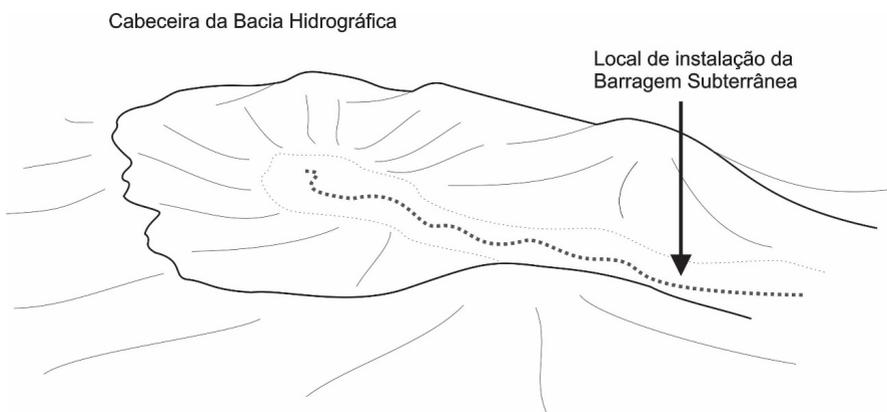


Figura 5. Desenho hipotético do local onde foram construídas a maioria das BSs estudadas: linha de drenagem de primeira ordem com vale que concentra o fluxo de água e área de captação suficiente para recarga de água das chuvas. Linha pontilhada grossa representa a linha de drenagem, caminho preferencial da água. Linha em negrito representa o perímetro e limite da área de captação da BS.

Fonte: adaptado de Nilsson (1988).

É importante ressaltar que o local de instalação da barragem subterrânea deve ter um formato de vale que permita a sua construção sem que haja perdas laterais de água, ou seja, deve-se priorizar locais com o vale em formato de “V” ou “U”, os quais concentram o fluxo de água na linha de drenagem e impede sua perda lateral depois da construção de um impedimento (septo/parede) (TALABAKHSHI; TALEGHANI, 2013). Assim, vales multi-

formatos, largos ou com muitos canais devem ser evitados porque os fluxos de água tendem a se deslocar lateralmente à medida que a barragem subterrânea recebe sedimentos, tornando-a ineficaz para o armazenamento de água com o passar do tempo.

Embora as BSs possam ser instaladas em locais com maiores fluxos de água (RAJU et al., 2006; RAJU et al., 2013), para as áreas de agricultura familiar, o mais indicado, como observado pelo presente estudo, é a construção dessas BSs em locais de menor fluxo, por demandar menor investimento em sua construção (ONDER; YILMAZ, 2005). Assim, as linhas de drenagem de primeira e segunda ordem permitem a construção de BSs com menor investimento, tornando esta tecnologia mais acessível aos agricultores de baixa renda.

O tamanho da área de influência das BSs, onde é possível a realização dos cultivos, variou de 0,10 a 0,70 ha (Tabela 2), i. e., a área útil onde a água é armazenada em maior quantidade e acessível às plantas. Essas áreas podem ser cultivadas utilizando somente água armazenada dentro do solo, o que permite a produção de alimentos para a família e, ou forragem para os animais (SILVA et al., 2007). Embora com áreas úteis pequenas, que não ultrapassam um hectare (Tabela 2), as BSs podem armazenar água que é utilizada para irrigação em locais próximos, prática comum em muitas propriedades que possuem esta tecnologia. Ressalta-se, entretanto, que em estiagens prolongadas, como constatadas nos últimos anos no Semiárido brasileiro, as BSs não suprem a necessidade de água durante todo o período, sendo necessárias outras tecnologias que minimizem os efeitos da falta de chuva para a produção de alimentos e a dessedentação animal.

A área de captação das BSs variou entre 1,3 e 200,0 ha, mostrando que mesmo na cabeceira da bacia pode haver uma grande área de captação (a Figura 5 exemplifica a área de captação de uma BS). Apesar dessa grande variação no tamanho da área de captação, 9 delas são menores que 100 ha (Tabela 2). Jamali et al. (2013), estudando 36 locais para instalação de BSs, encontraram áreas de captação menores que 50 ha para todas. Grandes áreas de captação

implicam em maior volume de água que chega à BS, obrigando o septo (parede) de barramento ser mais reforçado para impedir sua quebra com o volume de água recebido e que é sangrado. Além disso, se o septo for muito elevado, é possível o acúmulo d'água superficial por alguns dias, como nas barragens superficiais, mas impede os cultivos neste período na parte central das BSs.

Tabela 2. Área útil, declividade local, área e perímetro da área de captação, altitude e declividade longitudinal das barragens subterrâneas estudadas.

Barragem	Área útil	Declividade local	Área de captação	Perímetro da área de captação	Altitude	Declividade longitudinal
	ha	%	ha	km	m	%
ABA	0,30	0,7	80,0	3,6	484	1,0
CBA	0,25	0,5	10,0	1,4	395	3,5
NBA	0,25	1,0	16,0	1,8	448	1,7
DAL	0,70	0,9	130,0	5,0	262	7,0
SAL	0,20	3,5	26,0	2,0	352	8,5
NAL	0,25	1,0	80,0	4,0	302	1,0
SPE	0,20	4,0	1,3	0,4	857	2,4
OPE	0,20	0,9	200,0	9,0	498	2,0
MPE	0,40	1,3	90,0	3,7	536	1,3
APE	0,15	2,0	120,0	4,5	610	10,0
PPE	0,70	4,0	110,0	5,5	600	9,0
JPB	0,10	1,5	5,0	1,2	596	10,0
LPB	0,25	1,0	150,0	6,0	347	5,2
IPB	0,30	0,7	35,0	2,7	588	3,1

A declividade longitudinal (Tabela 2), que constitui em uma das mais importantes variáveis morfométricas para a escolha de locais para instalação de BSs (JAMALI et al., 2013), foi menor que 10% em todas as BSs estudadas, declividade essa considerada por esses autores como adequada para esse fim, contudo, há relatos de BSs instaladas em declividades de até 15 % (NILSSON, 1988). Atenção, porém, deve ser dada a declividade local da área de acumulação/bacia hidráulica

(que é diferente da declividade longitudinal), que não pode ultrapassar a 4% (MELO, et al. 2013; SILVA et al., 2007). Embora não tenha sido feito uma avaliação mais detalhada, observou-se em campo que a BS mais próspera (DAL), em termos de armazenamento e disponibilidade de água ao longo do ano, possui declividade longitudinal de 7,0%, e local de 0,9%, comprovando a importância da declividade longitudinal e local na seleção de locais apropriados para a construção de BSs.

As barragens subterrâneas foram instaladas em altitudes que variam entre 262 a 857 m, indicando que a altitude, embora limitante para alguns cultivos, não restringe a construção de BSs, desde que observado as demais características para sua instalação. Barragens subterrâneas construídas para o fornecimento de água para consumo humano têm sido construídas em altitudes próximas do nível do mar (JAMALI et al., 2013; RAJU et al., 2013).

Embora o presente trabalho apresente apenas alguns dados morfométricos do relevo relacionados às áreas onde foram construídas as BSs, estes podem ser úteis na escolha de locais para implantação de novas unidades, principalmente por indicar seu posicionamento nas bacias hidrográficas. Essa informação, somada aos dados de solos mais favoráveis para o bom funcionamento das BSs, representa um avanço significativo nas etapas prévias de escolha de áreas potenciais para implantação da tecnologia.

Além do tamanho da área de captação das BSs, a forma do vale em “U” e em “V” também implica no comprimento do septo de impermeabilização e no tipo de materiais utilizados na construção do sangradouro. A forma do vale em “V” tende a concentrar um maior volume dos fluxos superficiais e subsuperficiais na linha de drenagem, exigindo assim a construção de um septo e sangradouro com materiais mais resistentes, conseqüentemente mais caro. Por outro lado, o vale em forma de “U”, indicado por Taleghani e Talabakhshi (2013) como mais adequado para a instalação de BSs, exige a construção de um septo mais comprido para evitar a perda lateral de água na linha de drenagem. Embora a forma dos vales

das BSs estudadas não tenha sido descrita, esta característica deve ser atentada no momento da escolha do local de sua instalação (TALEGHANI; TALABAKHSHI, 2013).

Dentre os vários passos de processamento do Modelo Digital de Elevação (MDE) obtido a partir de imagens de SRTM para extração automática das linhas de drenagem utilizando o ARCGIS (pacote Spatial Analyst Tools), o passo em que se determina a quantidade de linhas de drenagem geradas (Spatial Analyst>Conditional>Con) deve ser enfatizado, tendo em vista que muito pode influenciar nas escolhas de áreas prioritárias para instalação de BSs. Quanto menor o número do campo Expression na janela de processamento desse passo (Spatial Analyst>Conditional>Con), maior o número de linhas de drenagens extraídas (densidade de drenagem). Assim, para conseguir chegar as linhas de drenagem das BSs estudadas, este campo foi preenchido entre 1 e 20, obtendo assim as linhas de drenagem das cabeceiras das bacias, onde as BSs foram instaladas. Isso implica que no momento do processamento de MDE para escolha de áreas adequadas para instalação das BSs, esses mesmos números devem ser utilizados, tendo em vista seu posicionamento nas cabeceiras das bacias hidrográficas.

Por conta da falta de materiais básicos de maior detalhe, não foram descritos outros parâmetros importantes para escolha de locais para instalação de BSs, como falhas geológicas, capacidade de recarga das bacias, volume d'água armazenada por metro cúbico de sedimentos e espessura do solo ou dos sedimentos aluvionares até a rocha do embasamento (ALI et al., 2014; TALEGHANI; TALABAKHSHI, 2013). Contudo, estes parâmetros, entre outros, devem ser considerados na seleção de locais aptos a captação, armazenamento e distribuição de água às famílias inseridas no ambiente Semiárido. O uso de novas geotecnologias, como radar de penetração no solo (Ground Penetration Radar - GPR), materiais básicos e modelos digitais de elevação do terreno em escalas de maior detalhe, sistemas de informações geográficas (SIGs), etc., permitirá um avanço significativo para a caracterização ambiental necessária para escolhas de locais adequados à instalação de barragens subterrâneas (ALI et al., 2014).

Identificação das classes de solo

A maioria dos solos descritos nas BSs estudadas foi classificado como Neossolos Flúvicos (RY), com argila de atividade alta, elevada saturação de bases (eutróficos) e horizonte A moderado em relevo plano (Tabela 3). A ocorrência de RY na maioria das BSs tem relação com os barramentos feitos nas linhas de drenagem para retenção dos fluxos, os quais trazem consigo sedimentos que são depositados no espaço de acomodação criado pela construção do septo das barragens subterrâneas (NICHOLS, 2009). Assim, a variação granulométrica dos RYs que ocorrem nas BSs é resultado da soma dos sedimentos alúvio-colvionares depositados antes e, principalmente, após a construção da BS, onde os diferentes eventos de sedimentação proporcionados pelos fluxos superficiais são interrompidos pela construção das BSs.

Tabela 3. Classes de solos de ocorrência nas barragens subterrâneas estudadas.

Barragens Subterrâneas	Classe de Solo ¹
ABA	VERTISSOLO HÁPLICO Carbonático típico A moderado textura argila Caatinga Hiperxerófila relevo plano
CBA	CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico vertissólico A moderado textura argila/franco-argilo arenosa/franco-arenosa Caatinga Hiperxerófila relevo plano
NBA	NEOSSOLO FLÚVICO Ta Eutrófico típico A fraco textura franco-argilo arenosa/areia/franco-arenosa Caatinga Hiperxerófila relevo plano
DAL	NEOSSOLO FLÚVICO Ta Eutrófico solódico A moderado textura franco-arenosa/areia/areia-franca Caatinga Hipoxerófila relevo plano
SAL	NEOSSOLO FLÚVICO Psamítico típico A franco textura arenosa Caatinga Hipoxerófila relevo suave ondulado
NAL	NEOSSOLO FLÚVICO Ta Eutrófico típico A moderado textura franco-arenosa/areia Caatinga Hipoxerófila relevo plano
SPE	PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico arênico A moderado textura areia franca/franco-arenosa Caatinga Hipoxerófila relevo suave ondulado

Continua...

Tabela 3. Continuação

OPE	NEOSSOLO FLÚVICO Ta Eutrófico típico A moderado textura franco/franco-argilo arenosa/areia Caatinga Hiperxerófila relevo plano
MPE	NEOSSOLO FLÚVICO Ta Eutrófico típico A moderado textura areia/franco-arenosa/areia-franca Caatinga Hiperxerófila relevo plano
APE	NEOSSOLO FLÚVICO Ta Eutrófico típico A moderado textura arenosa/média/arenosa fase caatinga Hipoxerófila relevo plano
PPE	NEOSSOLO FLÚVICO Ta Eutrófico típico A moderado textura arenosa/média/siltosa fase Caatinga Hipoxerófila relevo suave ondulado.
JPB	PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico A moderado textura areia/areia-franca/franco-arenosa Caatinga Hipoxerófila relevo plano
LPB	NEOSSOLO FLÚVICO Ta Eutrófico típico A moderado textura areia/franca/areia-franca Caatinga Hipoxerófila relevo plano
IPB	NEOSSOLO FLÚVICO Sódico sálico A moderado textura franco-argilo arenosa/areia/franco-arenosa/areia-franca Caatinga Hipoxerófila relevo plano

¹Trincheira escavada dentro da área útil da barragem subterrânea para descrição do perfil de solo.

Além dos RYs, também foram observadas outras três classes de solos: Vertissolo, Cambissolo e Planossolo, todos Háplicos. O Vertissolo e o Cambissolo ocorrem nas barragens subterrâneas ABA e CBA, respectivamente, possivelmente devido à grande influência de materiais calcários que ocorrem nas suas áreas de captação (SILVA et al., 1993). Solos muito argilosos e com argila 2:1, como o caso do Vertissolo e Cambissolo observados no presente estudo, via de regra, não são indicados para a construção das BSs, podendo ter pouca vida útil em relação àquelas instaladas em locais mais apropriados (SILVA et al., 2008). Os Planossolos ocorrem nas barragens subterrâneas SPE e JPB, ambos com elevada saturação por bases. Os Planossolos foram identificados nas BSs que possuem as menores áreas de captação, que pode estar associado ao menor aporte de água e, conseqüentemente, de sedimentos que chegam à BS.

De todas as BSs estudadas, somente a IPB apresentou saturação por sódio maior que 15%, o que condiciona o caráter sódico ao solo, e a condutividade elétrica do extrato da pasta saturada foi superior a 7 dS m⁻¹, conferindo também o caráter sálico a este solo (SANTOS et al., 2013b), devido a geologia da área de captação, que provavelmente contém rochas com minerais ricos em sódio e outros sais (ex. Feldspatos sódicos e potássicos), somados ao clima semiárido, cuja característica de baixa precipitação e alta evaporação, proporcionam a acumulação desses elementos no solo da referida BS. Pode também ser devido a dinâmica hídrica que o agricultor está impondo a BS, com elevação da altura do sangradouro acima do recomendado (50 – 70 cm) impedindo a sangria da água no período de cheias. Com relação as demais barragens subterrâneas, a DAL e a JPB apresentam saturação por sódio entre 6 e 15%, conferindo caráter solódico ao solo (SANTOS et al., 2013b), o que requer um cuidado especial no que diz respeito ao manejo do solo e da água, como aplicação de gesso agrícola e lavagem da área de plantio no início do período chuvoso, como também a renovação da água do poço, com sua utilização fora da área da BS.

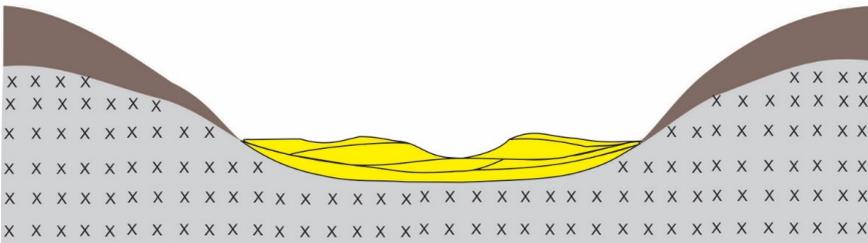
A vegetação original dos locais onde foram implantadas as BSs varia entre Caatinga Hipoxerófila (DAL, SAL, NAL, SPE, APE, PPE, JPB, LPB e IPB) e Hiperxerófila (ABA, CBA, NBA, OPE e MPE). A Caatinga Hipoxerófila ocorre nos locais de clima semiárido atenuado, também chamados de Agreste, já a Hiperxerófila é típica de clima semiárido mais intenso, conhecido com Sertão. As barragens subterrâneas sob Caatinga Hipo estão em uma faixa do Semiárido mais próxima ao litoral quando comparadas àquelas sob Caatinga Hiperxerófila (Figura 1).

Dinâmica de sedimentação dos solos aluviais

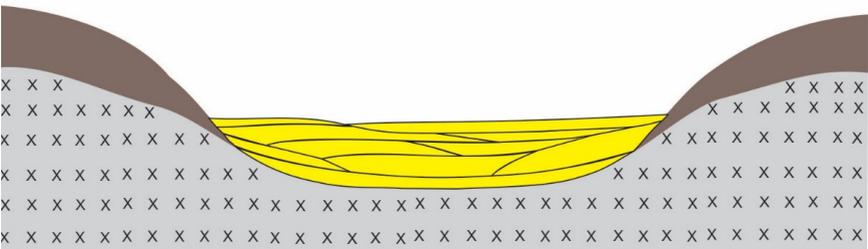
De modo simplificado, o processo e a dinâmica de sedimentação dos solos aluviais podem ser representados nas Figuras 6 e 7. A depender do tamanho do septo, principalmente de sua altura, a construção da BS pode proporcionar maior preenchimento sedimentar na linha de drenagem, como exemplificado na Figura 6 (6a e 6b), tornando o vale, próximo a BS, mais preenchido em relação ao vale que não

teve a construção dessa tecnologia. Na maioria das BSs estudadas foi observada tal característica, vale com mais preenchimento que antes da sua construção, sobretudo naquelas em que previamente predominavam sedimentos alúvio-coluvionares. Nessas figuras estão representadas somente as BSs construídas em locais que possuem solos aluviais.

a



b



x x Rocha
 Sedimentos Alúvio-coluvionares
 Solo

Figura 6. Corte transversal ilustrativo antes (a) e depois (b) da construção da barragem subterrânea na linha de drenagem próximo ao local de sua construção.

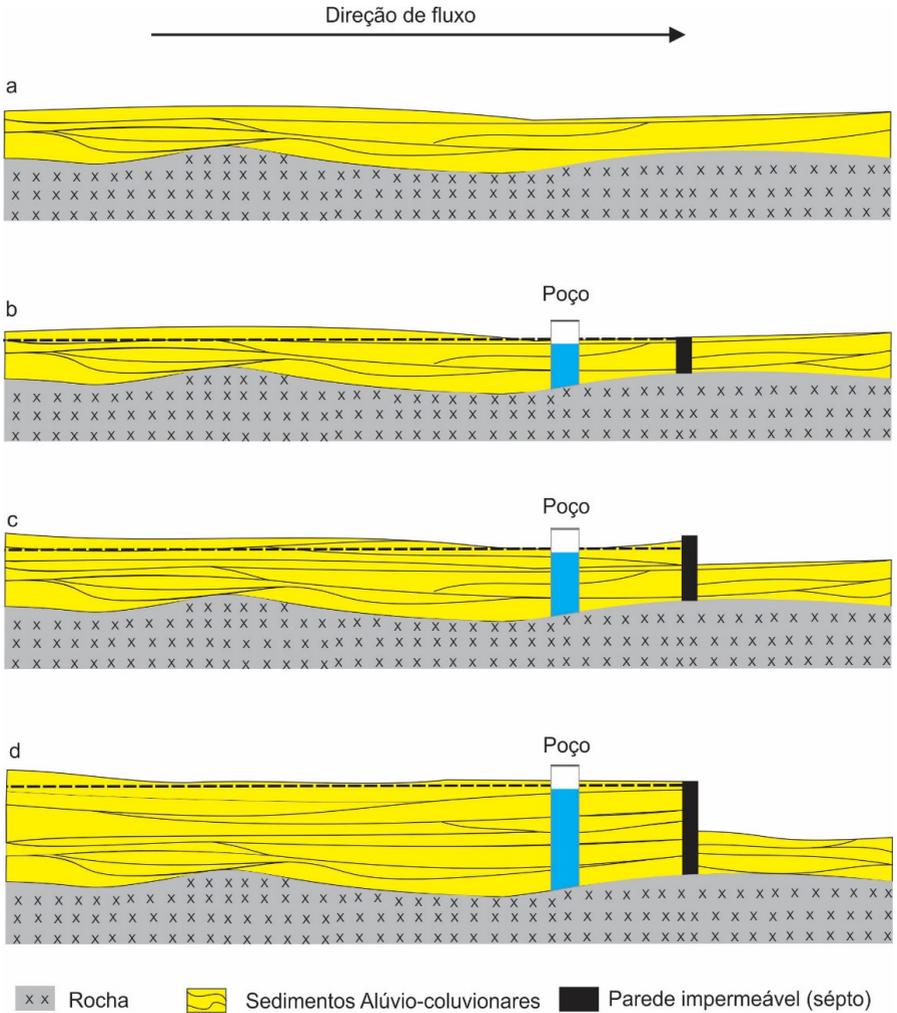


Figura 7. Corte longitudinal ilustrativo da linha de drenagem antes (a) e depois da instalação da barragem subterrânea (b). Em alguns casos os agricultores optam pela construção do septo mais elevado que o nível inicial dos sedimentos (c e d).

Na mesma representação, agora de um corte longitudinal da linha de drenagem, é possível mostrar essa dinâmica com a construção da BS (Figura 7a). Os depósitos sedimentares, menos espessos antes da construção da BS, tornam-se mais espessos depois de sua construção,

principalmente se o septo for construído acima do nível normal dos sedimentos, conforme mostrado na Figura 7 (7b e 7c). Além disso, em muitos estabelecimentos rurais os agricultores optam por elevar aos poucos a altura do septo, levando ao maior armazenamento de água (Figura 7d), contudo, essa prática deve ser avaliada com prudência para saber se a mesma comporta tal mudança, de modo a evitar problemas maiores, como rompimento da parede de contenção (septo), perdas laterais de água, concentração excessiva de sais, entre outros problemas.

Juntamente com os sedimentos, os fluxos descendentes também trazem consigo nutrientes, que, em parte, permanecem nas BSs devido ao barramento, levando seus solos a apresentarem elevada saturação de bases (eutrofia). Essa mesma dinâmica, associada com as características das áreas fontes, proporciona também a presença de argila de atividade alta (Ta), como observado na maioria dos solos estudados.

Considerações finais

As barragens subterrâneas estudadas, destinadas à agricultura familiar, estão instaladas em locais de menor fluxo de água, nas cabeceiras das bacias hidrográficas, principalmente em linhas de drenagem de primeira ordem.

As características morfométricas do relevo da microbacia devem ser consideradas principalmente para o cálculo do volume e escoamento da água da área de captação.

A declividade da área da bacia hidráulica (de acumulação) deve ser mantida entre 0,2 a 4%, já que esse parâmetro influencia diretamente no volume efetivo da água armazenada.

A maioria dos solos descritos nas barragens subterrâneas é classificado como Neossolo Flúvico, mas também ocorrem o Vertissolo Háplico, o Cambissolo Háplico e o Planossolo Háplico.

Os solos das barragens subterrâneas têm sua dinâmica relacionada à sedimentação e à hidrologia resultante da construção dos barramentos para armazenamento de água nas linhas de drenagem.

Trabalhos futuros devem ser realizados no intuito de: i) melhor descrever o relevo das áreas de captação das barragens subterrâneas; ii) prospectar áreas prioritárias para instalação de barragens subterrâneas por meio do uso de geotecnologias; iii) dimensionar a construção das barragens subterrâneas, como intercepto e sangradouro, de acordo com o tamanho da sua área de captação; iv) dar continuidade aos estudos de avaliação de sustentabilidade dos estabelecimentos rurais que possuem barragens subterrâneas.

Referências

ALI, S. S.; AL-UMARY, F. A.; SALAR, S. G.; AL-ANSARI, N.; KNUTSSON, S. Evaluation of selected site location for subsurface dam construction within Isayi Watershed using GIS and RS Garmiyān area, Kurdistan region. **Journal of Water Resource and Protection**, San Francisco, v. 6, p. 972-987, 2014.

CLAESSEN, M. E. C.; BARRETO, W. de O; PAULA, J. L. de; DUARTE, M. N. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa - Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

DIAS, I.; FAÉ, V.; SILVA, M. S. L. da. Relatório de avaliação dos impactos das tecnologias geradas pela Embrapa. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2014. 34p.

DORFESHAN, F.; HEIDARNEJAD, M.; BORDBAR, A.; DANESHIAN, H. Locating suitable sites for construction of underground dams through analytic hierarchy process. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON EARTH, ENVIRONMENT AND LIFE SCIENCES, 1., 2014, Dubai. **Proceedings...** Hamedan: International Institute of Chemical, Biological and Environmental em: <<http://iicbe.org/siteadmin/upload/3803C1214072.pdf>>. Acesso em: maio de 2014.

FORZIERI, G.; GARDENTI, M.; CAPARRINI, F.; CASTELLI, F. A methodology for the pre-selection of suitable sites for surface and underground small dams in arid areas: a case study in the region of Kidal, Mali. **Physics and Chemistry of the Earth**, Philadelphia, v. 33, p. 74–85, 2008.

JAMALI, I. A.; OLOFSSON, B.; MÖRTBERG, U. Location suitable sites for the construction of subsurface dams using GIS. **Environmental Earth Sciences**, New York, v. 70, p. 2511-2525, 2013.

JENSON, S.K.; DOMINGUE, J. O. Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Maryland, v. 54, n. 11, p. 1593–1600, 1988.

JHA, M. K.; KAMII, Y.; CHIKAMORI, K. Cost-effective approaches for sustainable groundwater management in alluvial aquifer systems. **Water Resources Management**, New York, v. 23, n. 2, p. 219–233, 2009.

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).

MIRANDA, J. L. F.; TORRES, F. S. M.; LIMA, E. A. M.; GALVÃO, M. J. T. G.; FRANZEN, M. **Recursos hídricos subterrâneos**. In: TORRES, F. S. M.; PFALTZGRAFF, P. A. S. (Org.). Geodiversidade do estado de Pernambuco. Recife, PE: CPRM, 2014. p. 87-108.

NICHOLS, G. **Sedimentology and Stratigraphy**. 2nd ed. United Kingdom: Wiley-Blackwell, 2009. 419 p.

NILSSON, A. **Groundwater dams for small-scale water supply**. London: Intermediate Technology, 1988. 64 p.

ONDER, H.; YILMAZ, M. Underground dams: a tool of sustainable development and management of groundwater resources. **European Water**, Athens, v. 11-12, p. 35-45, 2005.

RAJU, N. J.; REDDY, T. V. K.; GOSEL, W.; WYCISK, P. Managed aquifer recharge (MAR) by the construction of sub-surface dams in the semi-arid regions: a case study of the Kalangi river basin, Andhra Pradesh. **Journal of the Geological Society**, London, v. 82, p. 657-665, 2013.

RAJU, N. J.; REDDY, T. V. K.; MUNIRATHNAM, P. Subsurface dams to harvest rainwater— a case study of the Swarnamukhi River basin, Southern India. **Hydrogeology Journal**, United Kingdom, v. 14, p. 526–531, 2006.

- SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C.; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 6. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013a. 100 p.
- SANTOS, H. G.; ALMEIDA, J. A.; OLIVEIRA, J. B.; LUMBRERAS, J. F.; ANJOS, L. H.; COELHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, V. A. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 2013b. 353 p.
- SILVA, M. S. L. da; ANJOS, J. B.; FERREIRA, G. B.; CUNHA, T. J. F.; PARAHYBA, R. B. V.; OLIVEIRA NETO, M. B.; SANTOS, J. C. P. **Caracterização de atributos do solo em áreas de barragem subterrânea no Semi-Árido brasileiro**. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 2008. 26 p.
- 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, 2007. p. 121-137.
- SILVA, F. B. R.; RICHÉ, G. R.; TONNEAU, J. P.; SOUSA NETO, N. C.; BRITO, L. T. L.; COREIA, R. C.; CAVALCANTI, A. C.; SILVA, F. H. B. B.; SILVA, A. B.; ARAÚJO FILHO, J. C. **Zoneamento agroecológico do Nordeste: diagnóstico do quadro natural e arossocioeconômico**. Petrolina, PE: Embrapa – Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido; Recife, PE: Embrapa – Centro Nacional de Pesquisa de Solos - Coordenadoria Regional Nordeste, 1993.
- TALEGHANI, M. A.; TALABAKHSHI, F. The role of Geomorphology in locating underground sandy dams (case study: Gilan-e-Gharb). **Desert**, Terhran, v. 18, p. 145-152, 2013.
- TARBOTON, D. G.; BRAS, R. L.; RODRIGUEZ-ITURBE, I. On the Extraction of Channel Networks from Digital Elevation Data. **Hydrological Processes**, New Jersey, v. 5, p. 81–100, 1991.
- TARBOTON, D. G. A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. **Water Resources Research**, New Jersey, v. 33, n. 2, p. 309–319, 1997.
- VALERIANO, M. M. Dados topográficos. In: FLORENZANO, T. G. (Ed.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2008. p. 72-104.

Anexo I

Barragens subterrâneas da Bahia

Anexo 1a. CBA - Barragem subterrânea em Curaçá, BA. Sítio Caraibas - Dona Alda e Seu Zé de Antonino.

Fotos: Manoel Batista de O. Neto



Fotos: Maria Sonia Lopes da Silva

Anexo 1b. NBA - Barragem subterrânea em Uauá, BA. Fazenda Barreiros - Seu José Reinaldo e Emílio Leonardo (Neto).



Fotos: Manoel Batista de O. Neto

Fotos: Maria Sonia Lopes da Silva

**Anexo 1c. ABA - Barragem subterrânea em Canudos, BA. Sítio Alto Redondo/
Fazenda Rosário - Dona Marineide e Seu Aderbal Nascimento.**

Fotos: Maria Sonia Lopes da Silva



Fotos: Maria Sonia Lopes da Silva

Anexo II

Barragens subterrâneas em Alagoas

Anexo 2a. DAL - Barragem subterrânea em São José da Tapera, AL. Sítio Bananeiras - Dona Gilda e Seu Edésio (Seu Dedé).



Fotos: Maria Sonia Lopes da Silva

Anexo 2b. SAL - Barragem subterrânea em Santana Ipanema, AL. Fazenda Fundão - Dona Ana e Seu Sebastião Damasceno (Guardião de Sementes Crioulas).

Fotos: Maria Sonia Lopes da Silva



Anexo 2c. NAL - Barragem subterrânea em Senador Rui Palmeira, AL. Sítio Cacimbinhas (Sítio das Três Marias) - Seu Francisco e as Três Marias (Jailda, Jivalda e Adenilda - Nilda).

Fotos: Roberto da Boa Viagem Parahyba



Fotos: Maria Sonia Lopes da Silva



Anexo III

Barragens subterrâneas em Pernambuco

Anexo 3a. OPE - Barragem subterrânea em Ouricuri, PE. Fazenda Maniçoba - Dona Maria e Seu Odílio.

Foto: João Cordeiro da Fonseca



Foto: Roberto da Boa Viagem



Fotos: Maria Sonia Lopes

Anexo 3b. MPE - Barragem subterrânea em Serra Talhada, PE. Fazenda Pilãozinho - Dona Maria do Socorro e Seu Manoel.



Fotos: Maria Sonia Lopes da Silva

Anexo 3c. SPE - Barragem subterrânea em Buíque, PE. Sítio Periperi - Dona Sonia e Seu Naldo.

Fotos: Roberto da Boa Viagem Parahyba



Fotos: Maria Sonia Lopes da Silva

Anexo 3d. PPE - Barragem subterrânea em Pedra, PE, construída em parceria com a Cáritas Diocesana de Pesqueira.



Fotos: Maria Sonia Lopes da Silva

Anexo 3e. APE - Barragem subterrânea em Arcoverde, PE, construída em parceria com a Cáritas Diocesana de Pesqueira.



Fotos: Maria Sonia Lopes da Silva

Anexo IV

Barragens subterrâneas na Paraíba

Anexo 4a. IPB - Barragem subterrânea em Soledade, PB, Fazenda Lajedo de Timbaúba - Dona Maria da Glória e Seu Inácio Tota.

Fotos: Maria Sonia Lopes da Silva



Fotos: Manoel Batista de Oliveira Neto

Anexo 4b. JPB - Barragem subterrânea em Remígio, PB. Sítio Serra dos Mares - Dona Terezinha e Seu João Miranda.



Fotos: Maria Sonia Lopes da Silva



Fotos: João Cordeiro da Fonseca

Anexo 4c. LPB - Barragem subterrânea em Solânea, PB. Sítio Salgado dos Souza - Dona Eliete e Seu Luiz Pereira.

Fotos: Maria Sonia Lopes da Silva

Embrapa

Solos