



**UNIVERSIDADE REGIONAL DO CARIRI - URCA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA - CCT**  
**DEPARTAMENTO DA CONSTRUÇÃO CIVIL**  
**TECNOLOGIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL: TOPOGRAFIA E ESTRADAS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**ANALISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DE IMPLANTAÇÃO DE UMA BARRAGEM  
SUBTERRÂNEA NO MUNICÍPIO DE MILAGRES - CE**

**PEDRO ALVARES CABRAL NETO**

**JUAZEIRO DO NORTE – CE**

**2019**

**PEDRO ALVARES CABRAL NETO**

**ANALISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DE IMPLANTAÇÃO DE UMA BARRAGEM  
SUBTERRÂNEA NO MUNICÍPIO DE MILAGRES - CE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora como requisito obrigatório para a obtenção do título de Tecnólogo em Construção Civil da Universidade Regional do Cariri.

Orientador (a): Prof. Me. Antonio Nobre Rabelo

Coorientadora: Tec.<sup>9ª</sup> Cícera Hiarly Ferreira

**JUAZEIRO DO NORTE-CE**

**2019**

Neto, Pedro Alvares Cabral

ANALISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DE IMPLANTAÇÃO DE  
UMA BARRAGEM SUBTERRÂNEA NO MUNICÍPIO DE  
MILAGRES – CE/ Pedro Alvares Cabral Neto – Juazeiro do Norte

URCA/ Centro de Ciências e Tecnologia, 2019

51 p.

Orientador: Antonio Nobre Rabelo

Co-orientadora: Cicera Hiarly Ferreira

Monografia (Curso Tecnologia da Construção Civil – Habilitação  
em Topografia e Estradas) – Universidade Regional do Cariri/  
Centro de Ciências e Tecnologia.

*Dedico este trabalho a minha mãe  
e meu pai que nunca mediram esforços  
para me dar a melhor educação e que  
sempre trabalharam duro para proporcionar  
o melhor para mim e para meus irmãos.*

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar a Deus por me conceder saúde para concluir esta graduação, por estar sempre olhando por mim e por meus colegas de viagem, no perigoso trajeto diário de ida e vinda da faculdade.

A minha mãe Maria da Conceição Furtado Cabral e ao meu pai Francisco Lindeberg Alves Cabral que sempre lutaram para dar a mim e aos meus irmãos a melhor educação, por sempre acreditarem e me apoiarem na realização desta etapa de minha vida, sem eles nada disso seria possível.

Aos meus irmãos Gyllyane, Mariana e Lélío que sempre estiveram ao meu lado nesta caminhada me ajudando com conselhos e me incentivando a concluir a faculdade quando deixei os estudos um pouco de lado.

Ao meu Orientador Antonio Nobre Rabelo que acreditou em mim para realização deste trabalho, por sempre se mostrar disponível para me ajudar, buscando com sua experiência as melhores fontes de pesquisa e buscando ajuda de outras instituições para realização de ensaios, por seus inúmeros conselhos, na área acadêmica e profissional e por se mostrar também um amigo quando precisei.

Aos meus amigos Lucas Almada, Paulo Ricardo, Eduardo Dantas, Hiarly Ferreira, que me ajudaram de várias formas na realização desta pesquisa.

A todos os amigos que fiz durante o tempo de graduação por tornarem esta caminhada mais leve e divertida.

Ao Instituto Centro de Ensino Tecnológico (CENTEC), na pessoa do seu diretor Cícero Emerson Lacerda de Sousa, que permitiu o uso do laboratório para realização do ensaio de Matéria Orgânica.

Aos proprietários Ayran Grangeiro e José Abílio que permitiram acesso aos seus terrenos para a coleta das amostras de solo.

E a todos que não citei, mas que de alguma forma me ajudaram nessa conquista.

Decidir comprometer-se com resultados de longo prazo, ao invés de reparos a curto prazo, é tão importante quanto qualquer decisão que você fará em toda a sua vida.

Anthony Robbins

## RESUMO

Considerando as grandes dificuldades que o povo nordestino encontra nas épocas de estiagem e o grande volume de água que se perde por conta da evaporação nas barragens superficiais, a barragem subterrânea surge como sendo uma alternativa barata e de boa qualidade para o abastecimento da população sertaneja. Este trabalho visa apresentar os requisitos técnicos que devem ser cumpridos e que antecedem à construção de uma barragem subterrânea. Para tal, foi feita uma revisão bibliográfica sobre o tema, a fim de se conhecer todas as exigências técnicas a serem observadas para implantação e construção de uma barragem subterrânea, relatar suas vantagens e desvantagens em relação à barragem convencional. Em seguida fez-se o levantamento topográfico de um terreno particular, escolhido dentre outras duas áreas próximas, para o estudo da viabilidade técnica de implantação de uma barragem subterrânea. Nesses estudos constaram do levantamento da área da bacia hidráulica, escolha do local do septo, medição do comprimento à montante e sua declividade longitudinal, seguidos da coleta de solos para sua caracterização, complementados pelo aproveitamento de dados da RAS (Razão de Absorção do Solo) e salinidade da água do lençol freático local. Os estudos realizados apontaram para a viabilidade técnica do local para implantação da barragem subterrânea para os fins de irrigação e dessedentação de animais, com restrição de uso para consumo humano, uma vez que a água do lençol freático local apresenta coliformes fecais.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Modelo CPTASA/EMBRAPA de barragem subterrânea .....	20
Figura 2: Modelo Caatinga de barragem subterrânea.....	21
Figura 3: Mapa do Estado do Ceara em destaque para o município de Milagres .....	25
Figura 4: Formação rochosa do Ceara e em destaque o município de Milagres .....	26
Figura 5: Média anual de precipitação no estado do Ceara .....	27
Figura 6: Média anual de precipitação no estado do Ceara em destaque para região do cariri .....	27
Figura 7:Local adequado para construção da barragem.....	29
Figura 8: Formação de uma barragem natural por 'soleira'.....	30
Figura 9: Saturação dos aluviões à montante de um açude .....	31
Figura 10: Espessura mínima do deposito aluvial.....	32
Figura 11: Escavação do septo com ajuda de máquina (retroescavadeira).....	33
Figura 12: Representação da maneira correta de posicionar a lona.....	34
Figura 13: A esquerda poço alvenaria, à direita, poço em anéis pré-moldados .....	36
Figura 14: Equipamentos utilizados nos levantamentos topográficos.....	40
Figura 15: Realização do ensaio para determinação do teor de matéria orgânica do solo.....	43
Figura 16: Imagem do local em estudo para execução da barragem.....	44
Figura 17: Grafico da curva granulométrica das amostras A1 e A2 .....	45
Figura 18: Grafico da curva granulométrica das amostras B1 e B2 .....	45
Figura 19: Diagrama de Riverside.....	51

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Identificação dos furos realizados.....	41
Tabela 2: Classificação granulométrica do material.....	46
Tabela 3: Densidade real das amostras.....	46
Tabela 4: Porosidade das amostras colhidas.....	47
Tabela 5: Ensaio de matéria orgânica.....	47
Tabela 6: Resultado dos parâmetros utilizados.....	48
Tabela 7: Parâmetros utilizados para obtenção da RAS.....	48
Tabela 8: Comparação dos resultados com a resolução CONAMA N° 357/05 e a Portaria 2914/2011 do ministério da saúde.....	49
Tabela 9: Limites médios de tolerância à sais em relação a STD (Sólidos Totais Dissolvidos).....	50

## LISTA DE SIMBOLOS E SIGLAS

**ANA** - Agência Nacional das Águas

**CAGECE** - Companhia de Água e Esgoto do Ceará

**CONAMA** - Conselho Nacional do Meio Ambiente

**CENTEC** – Instituto Centro de Ensino Tecnológico

**CPRM** - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

**DNER** - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

**DNOCS** - Departamento Nacional de Obras Contra as Secas

**EMBRAPA** - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

**ETP** - Evapotranspiração

**GPS** - Sistema de Posicionamento Global

**H<sup>2</sup>O** – Fórmula Química da Água

**HAB** – Habitantes

**KM<sup>2</sup>** - Quilômetros quadrados

**M** - Metros

**Micra** - 0,001 milímetro

**Mg/l** - Miligramas por litro

**Mm** - Milímetros

**NO<sup>3</sup>** - Nitrato

**OMS** - Organização Mundial da Saúde

**Pé de Carneiro** - Rolo compactador

**RAS** - Razão de Absorção do Solo

**SIGSAB** - Sistema de Gestão da Informação e do Conhecimento do Semiárido

**STD** - Sólidos Totais Dissolvidos

**SUDENE** – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste

**VMA** - Valor Máximo Aceitável

**XVI** – Dezesesseis em algarismos romanos

**°C** – Graus Celsius

**'** – Minutos

“ – Segundos

\$ - Cifrão

% - Porcentagem

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Justificativa .....	17
1.2 Objetivos .....	17
1.2.1 Objetivo Geral.....	17
1.2.2 Objetivos Específicos.....	17
1.3 Metodologia .....	18
2. Fundamentação Teórica.....	18
2.1 Breve Histórico sobre as Barragens Subterrâneas .....	19
2.2 Modelos de Barragens Subterrâneas.....	20
2.2.1 Modelo CPTASA/EMBRAPA .....	20
2.2.2 Modelo Caatinga.....	21
2.2.3 Modelo Costa & Melo.....	22
2.3 Disposição sobre o Semiárido e a disponibilidade de Água.....	22
2.4 A problemática de falta de água no Nordeste .....	23
3. Características Gerais do município de Milagres .....	25
3.1 Localização, Extensão e População .....	25
3.2 Aspectos socioeconômicos.....	25
3.3 Geologia.....	26
3.4 Clima e Precipitação .....	27
3.5 Tipos de Vegetação .....	28
4. Critérios Técnicos para construção de uma Barragem Subterrânea.....	29
4.1 Escolha do local da Barragem .....	29
4.2 Declividade do terreno .....	31
4.3 Granulometria do Depósito Aluvial.....	31
4.4 Espessura do Depósito Aluvial .....	32
4.5 Construção da parede da barragem .....	32
4.5.1 Lona Plástica .....	34

4.5.2 Alvenaria (Pedra ou Tijolo) .....	35
4.5.3 Argila Compactada .....	35
4.6 Poço Amazonas .....	35
4.7 Qualidade da Água .....	36
5. Barragem Subterrânea x Barragem Superficial.....	38
5.1 Características da Barragem Subterrânea.....	38
5.2 Características da Barragem Superficial.....	38
6. Materiais e Métodos .....	40
6.1 Levantamento Topográfico .....	40
6.1.1 Levantamento Planimétrico .....	40
6.1.2 Levantamento Altimétrico .....	40
6.1.3 Sondagem .....	41
6.2 Ensaios com solos .....	41
6.2.1 Granulometria .....	42
6.2.2 Densidade Real .....	42
6.2.3 Porosidade.....	42
6.2.4 Matéria Orgânica .....	42
6.3 Análise da Água .....	43
7. Análise dos Resultados .....	44
7.1 Levantamento topográfico.....	44
7.1.1 Para Levantamento Planimétrico.....	44
7.1.2 Para Levantamento Altimétrico.....	44
7.1.3 Sondagem .....	44
7.2 Quanto ao solo.....	45
7.2.1 Para Granulometria.....	45
7.2.2 Para Densidade Real.....	46
7.2.3 Para Porosidade .....	46
7.2.4 Para Matéria Orgânica.....	47
7.3 Quanto à qualidade da água.....	48

7.3.1 Para Consumo Humano .....	49
7.3.2 Para Consumo Animal .....	49
7.3.3 Para Irrigação .....	50
8. Conclusão .....	52
9. Bibliografia.....	54

## 1 INTRODUÇÃO

Na última década a Região do Cariri cearense, bem como o nordeste brasileiro, sofreu e ainda sofre com a escassez de água. Em partes, tal crise toma forma pela baixa precipitação pluviométrica e a irregularidade na distribuição das chuvas. Segundo SUDENE (2019) (Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste), o semiárido brasileiro é composto por 1.262 municípios, dos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais, os quais têm por característica, precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 mm. De acordo com Suassuna (2002) o solo da região Nordeste é constituído por dois tipos estruturais: o embasamento cristalino, representado por 70% da região semiárida, e por bacias sedimentares. Tal fator dificulta o acúmulo de água, pois o embasamento cristalino tem por características ser raso e não apresentar infiltração.

As ações governamentais para amenizar a falta de água no semiárido têm tomado bastante proporção, tanto em construção de estruturas, quanto na conscientização do uso da água. As principais ações do governo consistem em tecnologias que possam sanar as necessidades, a curto e longo prazo, porém, os esforços, por vezes, não chegam às comunidades de baixa renda, ou não estão acabadas, inserindo-se, nesse caso, a transposição do Rio São Francisco, que surge como um dessedentador para o Nordeste brasileiro. O surgimento de atrasos e imprevistos em obras obriga as pessoas a desenvolverem formas efetivas de acumular e estocar a água, tais como a perfuração de poços artesianos e a emergencial construção de cisternas, que apresenta importância notável durante os períodos de estiagem.

Perante tal quadro, há necessidade da adoção de alternativas técnicas para a captação e armazenamento de água, que surge como uma das soluções para a escassez de tal elemento na região Nordeste, em especial, para as comunidades rurais. Entre essas alternativas, destaca-se a barragem subterrânea, a qual consiste da construção de um septo no depósito aluvial de um rio ou riacho, com a finalidade de impedir que a água, nele acumulada, continue a escoar durante o período de estiagem (OLIVEIRA, ALVES, FRANÇA, 2010). Essa parede atinge a camada rochosa do solo,

impossibilitando a passagem da água e, conseqüentemente, proporcionando a umidade do local. A água que fica armazenada pode ser utilizada por meio de um poço amazonas, construído à montante da barragem (COSTA; FILHO, 2017).

Para Silva e outros (2001) é importante lembrar que tal tecnologia faz armazenar água dentro do solo, com perdas mínimas de umidade (evaporação lenta), mantendo a terra úmida por um período maior de tempo, diferente dos reservatórios abertos (açudes), que apresentam grandes taxas de evaporação da água, devido a fatores diversos como o clima e a intensidade dos ventos.

Pensando na oferta de água, faz-se necessário se observar a qualidade da mesma, seja para uso humano, animal ou para irrigação, inclusive a salinização, a qual a água da barragem pode estar sujeita.

Toda água superficial ou subterrânea contém certo teor de sais em solução, mas em regiões semiáridas essa concentração é maior por causa dos períodos secos, que favorecem à evaporação da água e, conseqüentemente, o aumento da concentração de sais nas águas remanescentes dos reservatórios (FARIAS, 2008).

Para Santos e outros (2006) a salinização do solo da região da bacia hidráulica da barragem pode acontecer pelos efeitos da super exploração do aquífero barrado e da ação da elevada evapotranspiração, associada a períodos de seca prolongada. Esses mesmos autores ressaltam que para evitar tal processo podem ser utilizadas estruturas para o moto-bombeamento no corpo da barragem, visando a lixiviação do solo, devendo-se também realizar análise periódica (a cada 6/12 meses) da qualidade física e química deste e da água da barragem, para acompanhamento dos riscos de sua salinização e estabelecimento das devidas medidas corretivas.

A barragem subterrânea é uma estrutura hídrica de baixo custo, de processo simples de construção e operação, podendo ser construída em grande escala, desde que as condições naturais sejam favoráveis (OLIVEIRA; ALVES; FRANÇA; 2010).

Além das condições naturais, principalmente, a topografia local e as características do solo das bacias hidráulica e hidrográfica, as barragens subterrâneas devem ser executadas observando-se boas práticas construtivas, sob pena do total comprometimento da eficiência da obra.

A necessidade da observância dessas condições motivou a realização desse trabalho, o qual pretende verificar a viabilidade técnica da implantação de uma barragem subterrânea para usos diversos, no município de Milagres – CE.

## **1.1 Justificativa**

A instabilidade hídrica vivenciada nos últimos anos no estado do Ceará tem desafiado técnicos e os próprios sertanejos, na busca permanente de alternativas de engenharia de baixo custo. Dentre essas soluções se destacam as barragens subterrâneas, as quais podem amenizar significativamente os efeitos das prolongadas estiagens. Para o bom funcionamento e eficiência dessas barragens, seja para consumo humano, dessedentação de animais ou irrigação, faz-se necessária a observância da topografia local, características do solo e da água das bacias hidráulica e hidrográfica, etc., cujos parâmetros ainda não são suficientemente conhecidos no meio rural e acadêmico.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

O presente trabalho tem por finalidade verificar as condições técnicas de implantação de uma barragem subterrânea no município de Milagres – CE.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Verificar as características do solo no local do estudo realizado;
- Verificar a qualidade da água do riacho para os diversos usos (consumo humano, irrigação e dessedentação de animais);
- Destacar os riscos da salinidade da qualidade da água à saúde humana;
- Destacar a importância das barragens subterrâneas na mitigação dos efeitos das prolongadas estiagens no semiárido nordestino;
- Destacar a simplicidade do processo construtivo de uma barragem subterrânea;
- Destacar as vantagens das barragens subterrâneas sobre as barragens superficiais.

### 1.3 Metodologia

A metodologia empregada no presente estudo teve como base uma revisão bibliográfica do tema e o estudo de uma área para implantação de uma barragem subterrânea no município de Milagres, Ceará, constante do seguinte programa experimental:

- a) Levantamento topográfico da área da bacia hidrográfica, através de imagens do Google Earth;
- b) Levantamento das curvas de níveis da área da bacia hidráulica através do equipamento GPS RTK Hi-Target V30;
- c) Furos de sondagem, ao longo do septo da barragem, para verificação do nível da rocha
- d) Furos no interior da bacia hidráulica, nas profundidades de 0,5 a 1,0m e 1,0 a 1,5m, para coleta de amostras de solos, para realização dos ensaios de porosidade, para se ter noção do potencial de armazenamento de água da barragem;
- e) Realização dos ensaios de granulometria, densidade real das partículas e teor de matéria orgânica do solo àquelas diferentes profundidades;
- f) Aproveitamento dos parâmetros de salinidade da água do lençol freático local e RAS (Razão de Absorção do Solo), através dos ensaios realizados por Ferreira (2017).

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Breve Histórico sobre as Barragens Subterrâneas

O semiárido Nordestino é uma região que abriga em torno de 52% da população considerada abaixo da linha da pobreza no Brasil. Setenta e dois por cento desse contingente, os quais correspondem a 22 milhões de habitantes, vivem ou têm alguma ligação direta com a zona rural, constituindo a mais populosa região semiárida do mundo.

A variação média anual da precipitação pluviométrica no semiárido nordestino gira em torno de 200 a 800 mm anuais, o que é um volume significativo, porém, a evaporação, que chega a ser 2,5 vezes maior que esta, afeta a convivência com o semiárido, dificultando o trabalho e o desenvolvimento das atividades agropastoris (SUDENE, 2017). Diante desse cenário, há necessidade do agricultor possuir alternativas de armazenamento de água que lhe tragam perspectivas de segurança e soberania alimentar, cujo papel fundamental de ligação pode ser desempenhado pela barragem subterrânea.

A barragem subterrânea, principal expressão da cultura do estoque de água, é considerada a caixa da água do sertão, possuindo um significado expressivo na vida do sertanejo, uma vez que seu uso está relacionado não só à produção de alimentos, mas a um conjunto de outras questões do seu cotidiano.

Existem indícios de que essa tecnologia vem sendo utilizada no semiárido brasileiro desde os anos de 1850 (LIMA, 2013). Com o passar dos tempos a barragem subterrânea vem numa constante evolução, sendo a maior desta, a incorporação da lona plástica, que vem substituindo o material sólido que se usava na confecção da barragem, reduzindo o custo de produção e o tempo de execução de obra.

No Brasil, as primeiras barragens subterrâneas construídas na região nordeste datam do início da segunda metade do século passado, mas não existem informações sobre a metodologia utilizada e seu desempenho. A partir da década de 80, elas voltaram a ser consideradas, tanto na região nordeste, como na região semiárida do estado de Minas Gerais, porém, apenas nos últimos cinco anos as barragens subterrâneas passaram a despertar interesse especial, cujo marco é a construção de

mais de 500 barragens desse tipo, apenas no estado de Pernambuco (CIRILO e COSTA, 2000).

## 2.2 Modelos de Barragens Subterrâneas

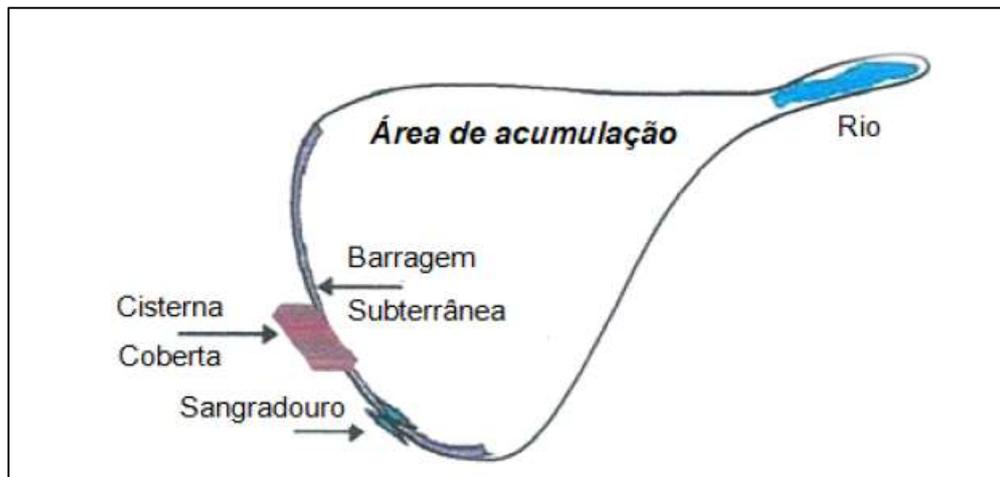
Costa (2014) foi o primeiro a listar e analisar os modelos de construção de barragens subterrâneas existentes no Brasil, dentre os quais os descritos a seguir.

### 2.2.1 Modelo CPTASA/EMBRAPA

Esse modelo, que tinha como principal função captar e armazenar água para a agricultura de subsistência foi desenvolvido na década de 80, pelo Centro de Produção de Tecnologia do Trópico Semiárido (CPTASA), hoje EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária).

França (2016) salienta que este tipo de barragem é construído em forma de arco e contém à jusante, uma parede impermeabilizada com cerca de 1,0m de altura e seu sangradouro pode ser construído de cimento, concreto ou alvenaria. A jusante do barramento deve ser posicionada uma cisterna coberta com telhado, na qual se instala um filtro de areia e carvão, como mostrado na Figura 1, a seguir.

Figura 1: Modelo CPTASA/EMBRAPA de barragem subterrânea



Fonte: COSTA, 1998

Entre as vantagens deste método destaca-se a maior capacidade de acumulação de água e a sua múltipla utilização.

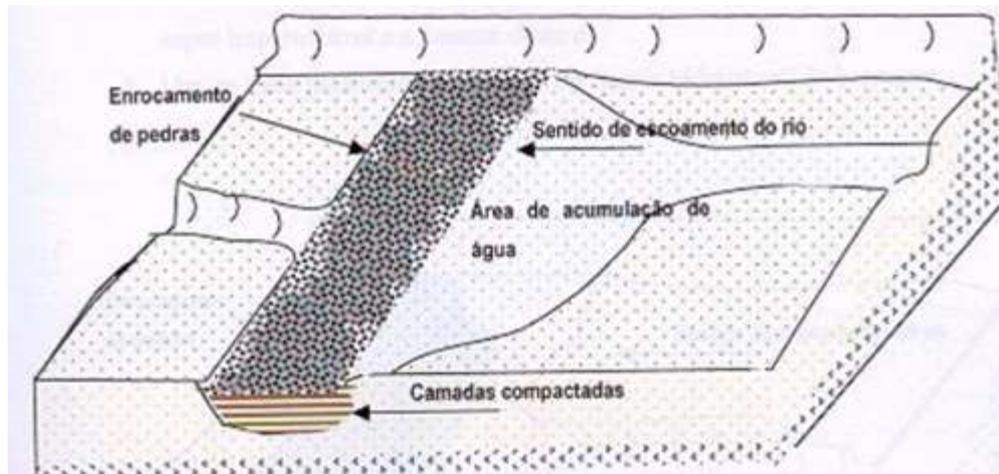
Já nas suas desvantagens em relação às outras barragens, considera-se o fato desta levar mais tempo para ser construída, devido à sua complexidade, seu custo pode ser estimado em cinco vezes maior que o modelo Costa & Melo e dez vezes maior do que o modelo caatinga (FRANÇA, 2016). Esse autor ainda destaca a necessidade de mão de obra especializada nesse tipo de barragem.

### 2.2.2 Modelo Caatinga

Este tipo de barragem originou-se de experiências internacionais, implantadas no início dos anos 90 pela organização não-governamental Caatinga, no município de Ouricuri - PE, com o objetivo de ajudar na agricultura familiar.

Esse modelo caracteriza-se por sua baixa complexidade de construção. Após a abertura transversal da trincheira, no sentido do riacho, se dá o enrocamento de pedras arrumadas e sem rejunte sobre a trincheira, como visto na Figura 2, adiante.

Figura 2: Modelo Caatinga de barragem subterrânea



Fonte: COSTA, 1998

Por ser uma obra simples, tem nas suas vantagens o baixo custo, já que utiliza mão de obra local e por ter um baixo movimento de terra, devido ao seu pequeno volume de água armazenado. Já como suas desvantagens, destacam-se o pequeno volume de água acumulado e sua maior suscetibilidade de salinização do solo, sendo o seu uso recomendável apenas para irrigação (FRANÇA, 2016).

### **2.2.3 Modelo Costa & Melo**

Esse modelo de barragem, que é atualmente o mais utilizado, foi desenvolvido na década de 80 pelos pesquisadores Waldir D. Costa e Pedro G. de Melo e sofreu algumas mudanças ao longo do tempo, para se adequar às características de cada região. Suas principais características são a presença de um poço amazonas à montante da barragem e a utilização de uma lona plástica, substituindo as pedras usadas no modelo Caatinga (COSTA, 1998).

Tem, dentre as suas vantagens, a rapidez e o baixo custo, assim como o modelo Caatinga, já que utiliza mão de obra local; o monitoramento contínuo da água, tanto para conhecer a qualidade, quanto para verificar seu nível em diferentes épocas do ano. Já entre as suas principais desvantagens, destaca-se o grande cuidado que se deve ter sobre a lona e sua colocação na trincheira, para garantir uma maior durabilidade.

## **2.3 Disposição sobre o Semiárido e a disponibilidade de Água**

Considerada como o líquido vital da existência, a água torna-se indispensável a qualquer forma de vida. Sua busca em outros planetas responde ao questionamento de existência da vida, pois, esta só existe na presença de água. Conforme Jacobi e Grandisoli (2017), toda a atividade humana depende de forma direta ou indireta da água, além da sobrevivência e da manutenção dos níveis vitais através do consumo direto, esse recurso é ainda amplamente usado na indústria, no comércio e na agricultura.

A disposição de água varia conforme a posição geográfica em que um país se localiza. Do total de 100% da água no planeta, apenas 2,5% é doce e se encontra disposta em rios, lagos, aquíferos e geleiras, tendo sua distribuição desigual entre os países. De acordo com Jacobi e Grandisoli (2017), levando em consideração a quantidade disposta de água doce, 60% dela estão localizados em nove países, enquanto os demais passam por condições extremas de escassez de água.

Conforme disposto no relatório da Agência Nacional das Águas, “Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil” o Brasil é um dos países que possui maior disponibilidade de água no mundo, possuindo cerca de 13% total da água doce disponível na Terra, mas por outro lado, sua distribuição é irregular, com cerca de 81%

reunida na Região Hidrográfica Amazônica e, apenas 2,7% nas regiões abarcadas pelo Oceano Atlântico (ANA, 2018). É de grande relevância destacar que a região Amazônica possui baixo índice populacional (cerca de 5%) diferindo das regiões próximas ao Atlântico, que concentram aproximadamente 56% da população do país, aumentando assim, a demanda pelo consumo de água (ANA, 2015).

No Nordeste a distribuição de água não é diferente do restante do país. Embora a mídia contemple apenas um cenário de pobreza e falta de recursos hídricos, o Nordeste também traz consigo belezas naturais e localidades com ampla disponibilidade de água. Grande parte dessa região é caracterizada por precipitações irregulares, sendo que, a escassez de água, apesar da existência de políticas públicas, sempre ter sido uma problemática sem solução. Nesse contexto, Nys; Engle; Magalhães (2016), afirmam que a localização geográfica do Nordeste do Brasil traz consigo a ausência de estações climáticas bem definidas e a limitação de períodos de chuva prolongados para a retenção da água, que se agrava com o passar dos anos mediante à ação antrópica sobre a natureza.

#### **2.4 A problemática de falta de água no Nordeste**

Historicamente, as secas possuem grande influência em todos os aspectos de vida do Nordeste brasileiro. Apesar de acontecerem com mais intensidade no semiárido todas as regiões acabam sendo afetadas. De acordo com Nys; Engle; Magalhães (2016), as secas sempre estiveram presentes no Nordeste, contanto, antes da ocupação em massa dessa região, que teve início em meados do século XVI, não havia grandes problemas, porque a caatinga, ecossistema predominante, era adaptado ao clima e suas variações.

Apenas em casos de seca extrema as pequenas populações indígenas presentes nessa época eram obrigadas a migrar em direção ao litoral, de acordo com relatos de cronistas presentes nos primeiros anos da colonização portuguesa. Entretanto logo que os colonizadores ocuparam esse território, começando a modificar a paisagem com a criação de fazendas, com o desmatamento para a criação de gado e para a produção de alimentos, a vulnerabilidade às secas sofrem um grande aumento (NYS; ENGLE; MAGALHÃES, 2016).

Antes, sendo um ecossistema limpo e tendo um solo puro com pouca interferência humana, o semiárido era resiliente e tinha um alto poder de adaptação a tais secas. A falta de água gera inúmeros problemas para todos que vivem nesse local, de forma direta afetando a agricultura e os consumos humano e animal e, de forma indireta, gera inúmeros impactos, sejam eles econômicos (com a perda da safra agrícola e a morte dos animais), sociais (com o aumento do desemprego) e ambientais (com a morte de animais silvestres, a exaustão de fonte de água, a degradação ambiental, e a desertificação onde antes houve interferência humana).

De acordo com Pires e Ferreira (2012), a história política, social e econômica sempre esteve ligadas ao território e à política de exploração baseada na concentração de terras, sendo o principal causador das más condições sociais e ambientais da região. Para o combate a isso foi desenvolvido pelo governo o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), porém, as constantes críticas ao órgão, fez com que em 1959 se desse a criação da SUDENE (Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste) com o objetivo de promover e coordenar o desenvolvimento da região.

Quanto ao uso da água doce, Ribeiro (2008) analisou que por conta da sua distribuição natural não corresponder à sua distribuição política, a água torna-se fonte de conflito. Para se ter uma ideia, 60% de toda carga hídrica disponível no mundo se encontra em apenas nove dos quase 200 países que compõem a comunidade internacional. Embora não haja um consenso, estima-se que o Brasil detenha algo entre 12% e 15% desse total.

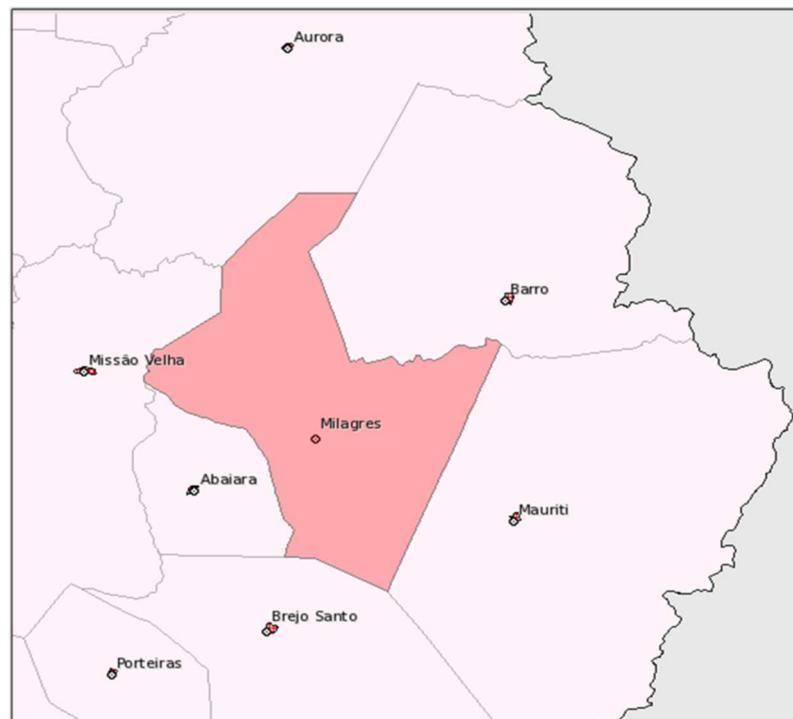
Sobre a distribuição dessa água em território nacional, fica caracterizada a problemática sobre a localização geográfica da sua disponibilidade. A desigualdade fica clara, de modo que justamente as áreas mais populosas e que, conseqüentemente, demandam um maior volume hídrico, são justamente as que possuem a menor fatia do total.

### 3. CARACTERÍSTICAS GERAIS DO MUNICÍPIO DE MILAGRES

#### 3.1 Localização, Extensão e População

Município localizado na região sul do estado do Ceará (Figura 3), Milagres está situada a 361 metros de altitude em relação ao nível do mar e tem as seguintes coordenadas geográficas: Latitude 7° 18' 10" Sul, Longitude 38° 56' 45" Oeste, limitando-se com as cidades de Mauriti, Barro, Brejo Santo, Missão Velha, Abaiara e Aurora. O município se estende por cerca de 605,193 km<sup>2</sup> e tem sua população, conforme censo realizado em 2018, estimada em 28.466 habitantes e uma densidade demográfica calculada em 46,69 hab/km<sup>2</sup> (IBGE, 2018).

Figura 3: Mapa do Estado do Ceará em destaque para o município de Milagres



Fonte: SIRH, 2014

#### 3.2 Aspectos socioeconômicos

A atividade econômica predominante do município se resume à agricultura, com destaque para as culturas de milho, feijão, mandioca e arroz. Já na pecuária, destaca-se a criação de bovinos, ovinos, caprinos, suínos e aves. O extrativismo

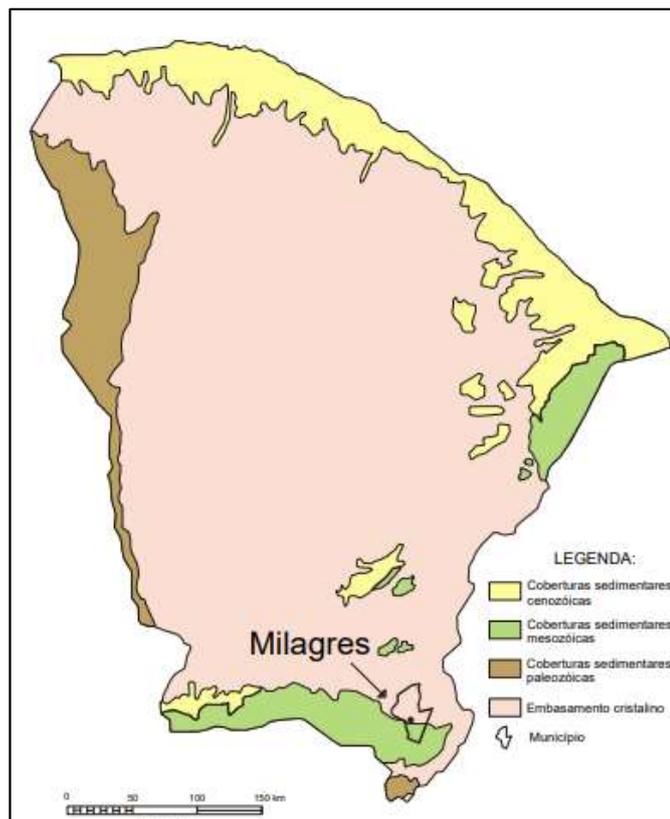
vegetal também se faz presente, tendo mais ênfase na fabricação de carvão vegetal, extração de madeira, para lenha e construção de cerca (CPRM, 1998)..

### 3.3 Geologia

A paisagem do município de Milagres revela uma superfície plana, proveniente da chapada do Araripe com altitudes próximas dos 500 m. Na parte norte deste território estão presentes as formas suaves da Depressão Sertaneja, em altitudes inferiores, cerca de 300 m. Dos solos encontrados nesta área destacam-se os vertissolos, podzólicos e litólicos (CPRM, 1998).

O interior geológico do território de Milagres como se pode ver na Figura 4, é composto por xistos e quartzitos do Pré-cambriano, conglomerados e arenitos do Paleozóico e arenitos do Mesozóico (CPRM, 1998).

Figura 4: Formação rochosa do Ceara e em destaque o município de Milagres

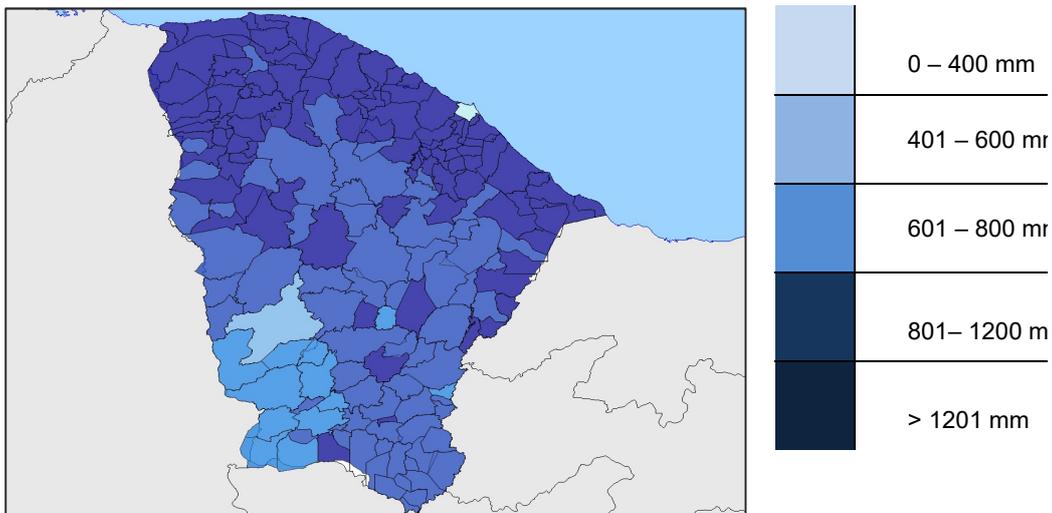


Fonte: CPRM, 1998

### 3.4 Clima e Precipitação

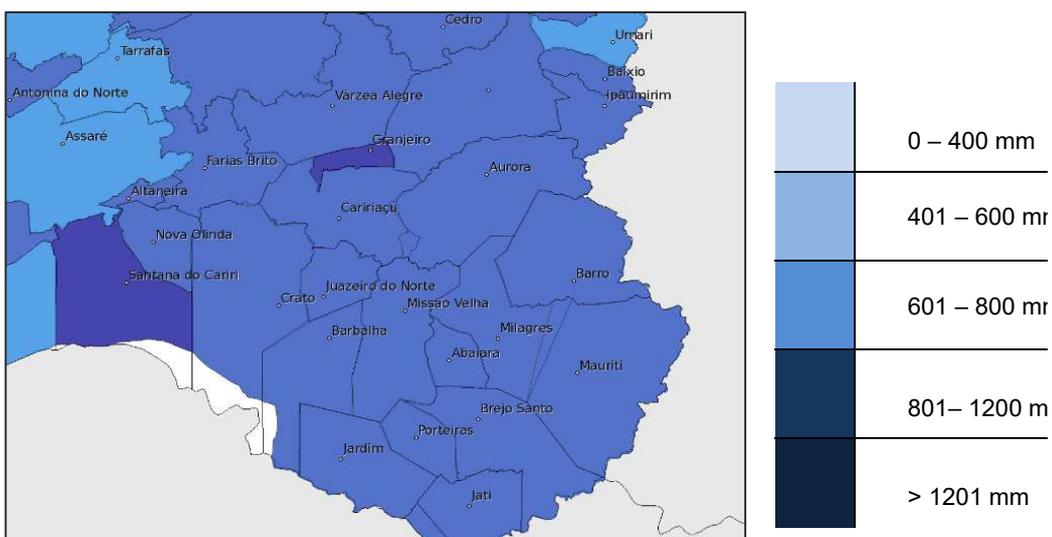
O clima predominante do município é o tropical quente semiárido. Durante todo ano a temperatura prevalece elevada e varia entre 19° a 37°C, mantendo uma média de 23°C no inverno e 29°C no verão. Com uma precipitação média anual de 800 mm, tem nos meses de janeiro a abril (Figura 5 e 6) os períodos mais chuvosos (CPRM, 1998).

Figura 5: Média anual de precipitação no estado do Ceará



Fonte: SIRH, 2014

Figura 6: Média anual de precipitação no estado do Ceará em destaque para região do cariri



Fonte: SIRH, 2014

### **3.5 Tipos de Vegetação**

A vegetação de Milagres segue o mesmo padrão de toda região semiárida (caatinga), com predominância da vegetação caducifolia espinhosa (caatinga arbórea), e floresta subcaducifolia tropical fluvial (mata seca) (CPRM, 1998).

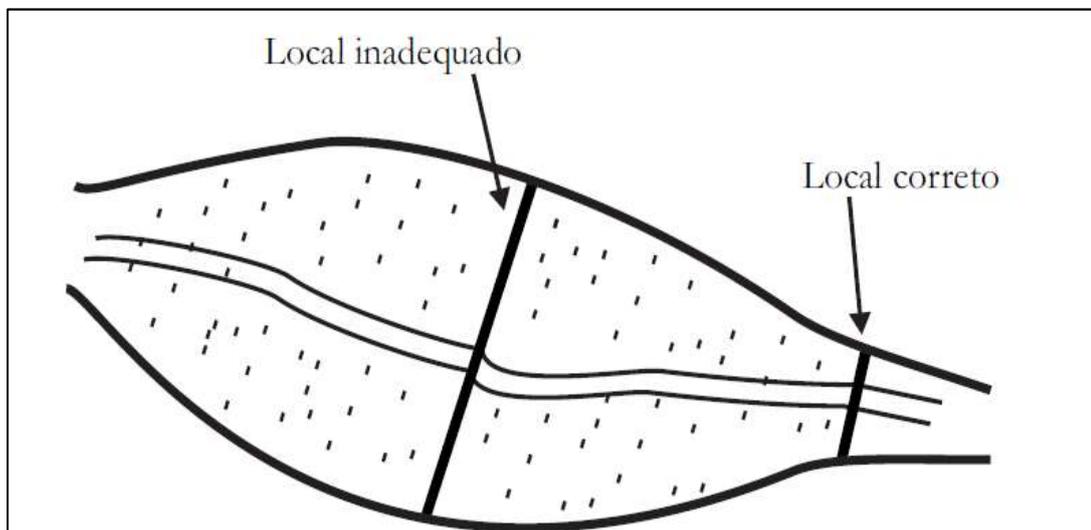
#### 4. CRITÉRIOS PARA CONSTRUÇÃO DE UMA BARRAGEM SUBTERRÂNEA

A implantação de uma barragem subterrânea deve obedecer a vários critérios técnicos desde a elaboração do projeto até a sua execução, conforme descrição a seguir.

##### 4.1 Escolha do local da Barragem

Segundo Nascimento e outros (2008) o funcionamento de uma barragem subterrânea depende das condições naturais do terreno, do relevo e da natureza do solo, devendo-se, inicialmente, dar preferência às áreas em leito de rio, riacho e baixios, pois são nessas áreas onde o escoamento da água acontece. Esses autores completam que é aconselhável que o local escolhido para execução da barragem tenha, no mínimo, 1.000 m de comprimento à montante do septo da barragem, para que se possa gerar um maior acúmulo de água, ao mesmo tempo em que a parede (septo) deve ser localizada onde a largura seja menor, a fim de economizar material e mão de obra (Ver Figura 7).

Figura 7: Local adequado para construção da barragem



Fonte: NASCIMENTO, E OUTROS (2008)

Segundo Nascimento e outros (2008) o eixo da barragem deverá ser feito com base no levantamento planialtimétrico da área, em quadrículas de 20m x 20m, o qual define o contorno da bacia hidrográfica, a declividade do terreno natural, que dá origem à rede de drenagem do riacho, bem como à geometria superficial do depósito

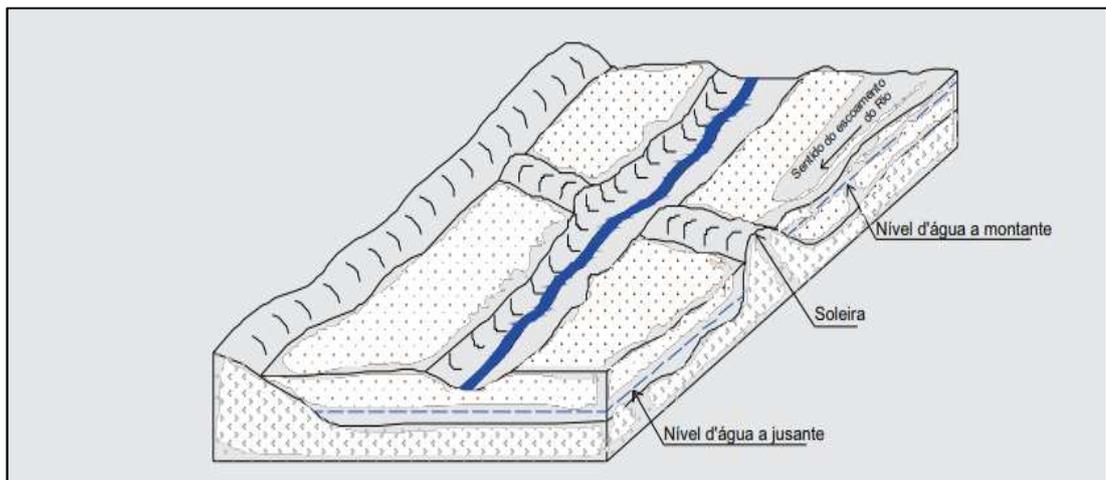
aluvial. A confirmação desse eixo ainda estará dependente de um estudo posterior para detecção do nível da rocha.

É necessário ainda atenção quanto à época em que é analisada a escolha do local para construção da barragem, pois se a mesma é realizada durante ou pouco tempo após o período chuvoso, o nível da água no depósito aluvial, possivelmente, estará próximo da superfície ou até mesmo aflorante, donde se conclui que esta análise deverá ser feita no período de fim de uma estiagem, próximo ao início de um novo período chuvoso.

Para Costa e Filho (2015), no período em que é feito este estudo, o depósito aluvial deve estar seco ou com uma reduzida espessura saturada de água, não ocorrendo esta situação, este local não será compatível para construção da barragem, pois para isso, deve ocorrer as seguintes situações:

- Existência de 'soleiras', que são ondulações que se dão no leito rochoso (figura 8), ocorrendo esta situação a construção da barragem torna-se desnecessária, pois a soleira já se configura como um barramento natural, como exemplificado na figura 8.

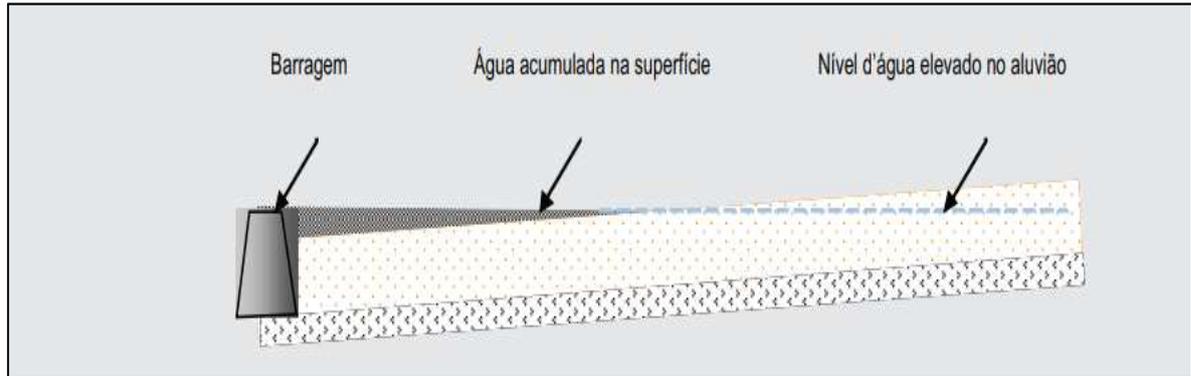
Figura 8: Formação de uma barragem natural por 'soleira'



Fonte: COSTA E FILHO, 2015

- Já existência de qualquer barramento superficial (barragem, açude, etc.), ou uma lagoa natural, que acarreta, mesmo que ultrapassando o limite de acumulação da água na superfície, uma grande área de aluviões saturada à montante, que é popularmente conhecida como 'reversa' do açude (COSTA E FILHO, 2015). Ver exemplo na Figura 9.

Figura 9: Saturação dos aluviões à montante de um açude



Fonte: COSTA E FILHO, 2015

Um bom cenário para a execução de barragens subterrâneas em propriedades rurais será um local que já seja abastecido por uma água de boa qualidade, com ombreiras estanques, onde possa haver o encaixe da barragem e aluvião constituído de material granular apresentando boa permeabilidade (NASCIMENTO E OUTROS, 2008).

#### 4.2 Declividade do terreno

Para Costa (2014) o terreno para implantação da barragem, deve possuir ao longo do curso da água, uma inclinação mais suave possível, não superior a 5%, pois a água ali acumulada poderá se estender por uma maior distância. Se o relevo for muito inclinado, situação que se dá nas cabeceiras do riacho, a água irá se acumular numa área muito reduzida.

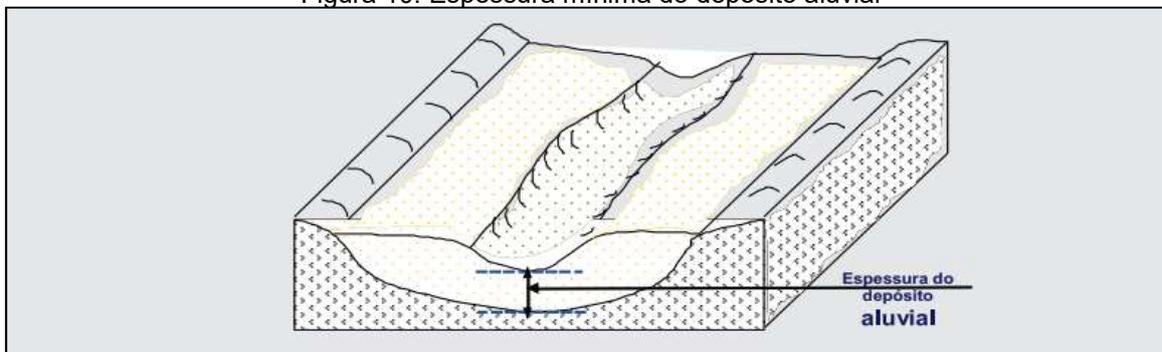
#### 4.3 Granulometria do Depósito Aluvial

Antes que se conheça o tipo de solo da região a ser alagada, Costa e Filho (2015) salientam que este deverá ter sua constituição predominantemente arenosa podendo ainda conter alguma mistura com material mais fino (silte ou argila). Considerando que a água ficará contida nesta parcela da terra é necessário que haja vazios no solo para que a água se acumule.

#### 4.4 Espessura do Depósito Aluvial

Para construção da barragem é necessário que o depósito aluvial tenha no mínimo 2,0 m de espessura (ver Figura 10) até atingir a camada impermeável, levando em conta que a evaporação pode alcançar até 0,5 m de profundidade, neste caso ainda estaria disponível 1,5 m para o acúmulo de água. Já para a profundidade máxima o ideal é que não se ultrapasse a marca de seis metros, pois neste caso já se tornaria uma construção perigosa, visto que a esta altura, se escavada de forma manual, poderia ocasionar o desabamento das paredes, o que colocaria em risco a integridade dos trabalhadores que se encontrassem no interior da vala (COSTA & FILHO, 2015).

Figura 10: Espessura mínima do depósito aluvial



Fonte: COSTA E FILHO, 2015

#### 4.5 Construção da parede da barragem

Uma vez escolhido o local ideal e após obedecidos a todos os critérios anteriormente citados que se tornam pré-requisitos da obra, se dá a construção da parede da barragem. Escavada na maioria das vezes em linha reta, essa abertura também poderá ocorrer em formato curvo, procurando obedecer aos traços da topografia.

A escavação deve ter sentido perpendicular ao curso do rio e poderá ser feita de forma manual ou mecanizada utilizando, na maioria das vezes, a retroescavadeira, conforme visto na Figura 11, adiante. O seu comprimento é definido pela topografia da região, mas é recomendável que não ultrapasse a marca de 100 m. A profundidade será definida pelo limite da camada impermeável presente no subsolo. A largura da deve variar de 60 a 80 cm. Quando escavada com ajuda de máquinas, essa largura deve ter a dimensão da concha utilizada para a escavação. Quando

cavada manualmente adota-se uma largura que permita os trabalhadores se movimentarem no interior da vala sem grandes dificuldades (COSTA & FILHO, 2015).

Figura 11: Escavação do septo com ajuda de máquina (retroescavadeira)



Fonte: SEAPAC, 2014

A escavação quando realizada manualmente e sem a ajuda de escoramento se torna um processo mais simples e de menor custo, com a retirada da água sendo feita diretamente do fundo da cava. Contudo, esse processo só deverá ser feito quando o nível da água estiver próximo ao nível da camada impermeável e em aluviões de espessura reduzida. Ainda assim a escavação deverá ser procedida com taludes de pelo menos 1:1 (H:V) ou alguma outra inclinação que garanta a estabilidade das paredes da cava (NASCIMENTO E OUTROS, 2008).

Todo o material retirado da vala na escavação deverá ser acomodado à montante da barragem, afim de quando for se dar o processo de implantação do septo, esse material não venha a atrapalhar o procedimento.

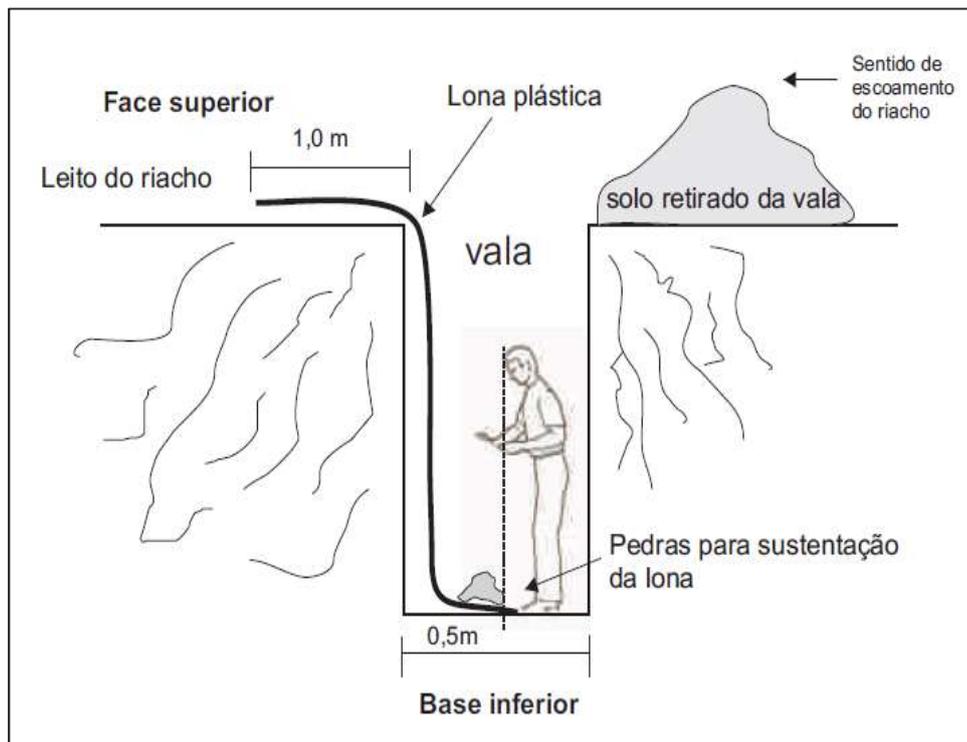
O tipo de material usado para o barramento de água para construção da parede pode variar com a sua disponibilidade ou conforme a preferência do agricultor. Entre estes, destacam-se a lona plástica, alvenaria de pedra ou tijolo e a argila compactada.

### 4.5.1 Lona Plástica

Apresenta-se como método mais rápido e barato na construção do septo, pois dependendo do comprimento da mesma, em um período de uma a duas horas, poderá ser concluída. Antes de acomodar a lona na vala é necessário que se faça a limpeza desta, retirando pontas de raízes e pedras presentes nas suas paredes, a fim de se evitar cortes na lona. Em valas mais profundas, quando o aluvião ultrapassar a marca de 2,0 m e que seu solo seja arenoso, o que pode ocasionar o risco de desabamento, é indicado que essa limpeza seja feita com ajuda de máquinas.

No processo de colocação da lona na cava esta precisará ocupar a parede à jusante, ou seja, no lado oposto ao sentido do escoamento da água. As extremidades da lona, tanto a superior quanto a inferior, no momento do aterramento da vala, precisarão estar presas com pedras, como representado na Figura 12.

Figura 12: Representação da maneira correta de posicionar a lona



Fonte: NASCIMENTO E OUTROS, 2008

#### **4.5.2 Alvenaria (Pedra ou Tijolo)**

Seguindo o mesmo padrão utilizado no método anterior este tipo de parede segue a mesma forma de construção de uma parede ou um muro qualquer, o seu rejuntamento deve ser feito de maneira que impeça o fluxo de água por entre ela.

A restrição que se faz à utilização deste material na execução do septo quando o embasamento impermeável se constitui de material compressível (argila), pois poderão surgir fissuras na parede, provocadas por assentamentos não uniformes (NASCIMENTO E OUTROS, 2008 pag. 42).

#### **4.5.3 Argila Compactada**

Este tipo de barramento é o menos usado, tendo algumas desvantagens em relação aos outros, visto que precisará de mais horas trabalhadas por máquinas, tanto na escavação, quanto na compactação, o que torna sua construção inviável em alguns casos.

A abertura da vala deverá ser mais larga do que as demais, uma vez aberta deverá ser depositada a argila em camadas não superiores a 30 cm e compactada com um rolo compressor do tipo liso ou “pé de carneiro”.

Além disso alguns cuidados devem ser tomados antecedendo a colocação da primeira camada sobre a camada impermeável do subsolo, como uma limpeza que consiste na remoção de todo o material frouxo, poças de água devem ser eliminadas a fim de assegurar uma boa ligação com o material compactado.

Os buracos e outras irregularidades da superfície rochosa devem ser preenchidos cuidadosamente com terra compactada através de sapos ou outro processo equivalente, até formar uma superfície sensivelmente horizontal. Para tanto, deve-se compactar a primeira camada com espessura reduzida, da ordem de 10 centímetros (NASCIMENTO E OUTROS, 2008, pag. 42).

#### **4.6 Poço Amazonas**

A construção do poço, conforme visto na Figura 13, deve ficar localizado à montante da barragem, próximo ao septo impermeável, em alguns casos é aproveitado a própria abertura da vala para construção deste poço. Esta obra é de certa forma “obrigatória” na construção da barragem pois ela terá funções importantes para o funcionamento da obra. Ele poderá ser construído de duas formas: em alvenaria de tijolos ou com anéis de concreto pré-moldados, sendo a segunda mais utilizada devido à sua rapidez (COSTA & FILHO, 2015). Para Costa e outros (2011) esses anéis têm

tido um diâmetro em torno de 1,0 m e altura de 0,5 m, facilitando assim o transporte e a colocação dentro da vala. Para facilitar a entrada da água neste poço deve ser construída uma base de brita solta com 0,2 m de altura e 1,5 m de diâmetro antes de se colocar o primeiro anel de concreto. Concluído este processo, deve-se iniciar a colocação dos anéis de concreto, nivelando o primeiro, que ficará em contato com a brita e os outros irão lhe suceder, até atingir cerca de 0,8 m acima do nível superficial.

Após concluída a construção do poço este servirá para captação da água acumulada no depósito aluvial e verificação do nível da água, ao longo do período de estiagem, à medida que esta vai se esgotando.

Figura 13: À esquerda poço alvenaria, à direita, poço em anéis pré-moldados



Fonte: COSTA, 2014

#### 4.7 Qualidade da Água

Antes da construção da barragem é recomendável que seja coletada amostras de água em alguma cacimba já existente próxima ao local da obra, para que sejam realizadas análises importantes, a fim de conhecer principalmente sua salinidade. Realizado essas análises já se saberia de antemão, qual seria o uso devido que a água dessa barragem receberia. Não existindo nenhum ponto de captação de água, deve-se consultar a população local, para se conhecer as condições de uso da água.

Conforme defendido por Heath (1982) a água é frequentemente referida como solvente universal, pois consegue dissolver ao menos pequenas quantidades de praticamente todas as substâncias com que entra em contato. Desse total, as águas

subterrâneas contêm as maiores quantidades de sólidos dissolvidos, a composição e a concentração de substâncias dissolvidas pela água subterrânea não poluída depende da composição química da precipitação, das reações biológicas e químicas ocorrentes na superfície da terra e no interior do solo, e da composição mineral dos aquíferos e camadas confinantes através das quais a água se move.

## **5. BARRAGEM SUBTERRÂNEA x BARRAGEM SUPERFICIAL**

Para conhecer qual tipo de barragem é a mais vantajosa, é importante que se conheçam as características da área a ser implantada e que sejam analisados alguns fatores importantes como os impactos ambientais que tal construção possa causar, o investimento feito, volume de água retido em cada uma e as perdas por evaporação ao decorrer do período seco. Só após analisados esses itens poder-se-á ter uma conclusão mais precisa sobre a obra mais adequada para se construir.

### **5.1 Características da Barragem Subterrânea**

Para Sobral e outros (2010) a escolha por este tipo de barramento traz algumas vantagens como:

- Resistência à evaporação e à contaminação da água por poluentes;
- São imunes ao assoreamento;
- Maior área de plantio disponível, visto que nenhuma área será inundada;
- Redução do risco de contaminação da água pela salinidade; e
- Têm menores custos de construção do que as barragens superficiais.

Negativamente, Sobral e outros (2010) considerou os seguintes pontos:

- Menor quantidade de água armazenada, mesmo considerando áreas equivalentes para as duas, levando em conta o fato que no subsolo a água ficará contida apenas nos vazios do solo;
- A menos que se construa um poço amazonas, essa água não poderá ser usada para dessedentação de humanos nem de animais

### **5.2 Características da Barragem Superficial**

As barragens superficiais também consistem da construção de uma barreira artificial construída em cursos d'água já existentes para retenção da mesma. Têm na sua capacidade de armazenamento a principal vantagem em relação à barragem subterrânea, sendo útil ainda na criação de peixes. Em contrapartida, Sobral e outros (2010) salientam que, como a água fica em contato direto com o sol, este tipo de barragem possui elevada taxa de evaporação em regiões semiáridas, região esta que é

predominantemente quente em grande parte do ano. As barragens superficiais têm mais elevado custo do que as barragens subterrâneas, podendo ter sua construção inviabilizada para propriedades de pequenos criadores.

## 6. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentados e detalhados a área de estudo, os métodos e as normas técnicas empregados para a realização da presente pesquisa.

### 6.1 Levantamento Topográfico

Todos os levantamentos topográficos foram realizados com um GPS RTK Hi-Target V30, conforme disposto na Figura 14.

Figura 14: Equipamentos utilizados nos levantamentos topográficos



Fonte: Próprio autor, 2019

#### 6.1.1 Levantamento Planimétrico

Este levantamento foi realizado para conhecimento da área total da bacia hidráulica, que corresponde ao espaço de inundação da barragem.

#### 6.1.2 Levantamento Altimétrico

Foram levantadas seções transversais da bacia hidráulica, a cada cinquenta metros, para conhecimento da declividade da barragem.

### 6.1.3 Sondagem

Foram feitos três furos de sondagem para determinação da profundidade da rocha no local do septo da barragem. O primeiro furo foi realizado na metade do comprimento do septo, do qual foram coletadas as amostras A1 e A2, para realização dos ensaios de granulometria, porosidade, densidade real e matéria orgânica, conforme visto na Tabela 1, já o segundo furo foi feito a uma distância de 100 m à montante do local escolhido pra escavação do septo o qual foram coletadas as amostras B1 e B2 .

### 6.2 Ensaios com solos

Foram realizados alguns ensaios laboratoriais para verificação da viabilidade técnica da implantação da barragem, no que se refere aos parâmetros do solo. Para tal foram coletadas quatro amostras de solos, designadas por amostras A1, A2, B1 e B2 conforme profundidade e localização (baseado no sistema de referência Sirgas 2000) descritas na Tabela 1, adiante. Todos os ensaios com solos foram realizados no LAMESP – Laboratório de Mecânica dos Solos e Pavimentação, do Departamento de Construção Civil da URCA, à exceção do ensaio de matéria orgânica, o qual foi realizado no laboratório químico do CENTEC – Instituto Centro de Ensino Tecnológico

Tabela 1: Identificação dos furos realizados

Furo	Amostra	Prof. (m)	Coordenada Geográficas	
			Latitude	Longitude
1	A1	0,5 a 1,0	7°15'53"S	38°52'19"
	A2	1,0 a 1,5	7°15'53"S	38°52'19"
2	B1	0,5 a 1,0	7°15'51"S	3852'21"
	B2	1,0 a 1,5	7°15'51"S	3852'21"

Fonte: Próprio autor, 2019

Vale esclarecer que o furo 1, foi feito no local estudado para localização do septo da barragem, enquanto o furo 2, foi feito a uma distância de aproximadamente 100 m à montante do furo 1. Esses furos serviram tanto para estimativa do nível da rocha, como para coleta das amostras para realização dos ensaios descritos adiante.

As amostras foram coletadas a partir de 0,5 m de profundidade tendo em vista que a água acumulada no solo a partir desta, não sofrerá efeito da evaporação.

As amostras coletadas serviram para realização dos seguintes ensaios:

### **6.2.1 Granulometria**

Esse ensaio foi realizado para conhecimento da textura do solo da bacia hidráulica da barragem, conforme a norma DNER-ME 080/94, e fornecer elementos físicos para o estabelecimento da capacidade de retenção de água no interior da barragem.

### **6.2.2 Densidade Real**

Esse ensaio foi realizado conforme a norma DNER-ME 093/94, para conhecimento da natureza das partículas constituintes do solo da barragem.

### **6.2.3 Porosidade**

Esse ensaio foi realizado conforme a norma NBR 8592 para conhecimento da capacidade de permeabilidade do solo local, cujo parâmetro é primordial para a realimentação de água da barragem.

### **6.2.4 Matéria Orgânica**

Para determinação da matéria orgânica (Figura 15) utilizou-se a norma NBR 13600 da ABNT, o qual foi realizado por queima a 440°C, para conhecimento das potencialidades do solo da bacia hidráulica para plantio, uma vez que esta é uma das principais finalidades das barragens subterrâneas.

Figura 15: Realização do ensaio para determinação do teor de matéria orgânica do solo



Fonte: Próprio autor, 2019

### 6.3 Análise da Água

Para verificação da qualidade da água, foram aproveitados os resultados dos ensaios de salinidade, dos teores de cloreto, nitrato e coliformes, desenvolvidos na pesquisa de Ferreira (2017). Também foram aproveitados desse trabalho os parâmetros da RAS os quais foram estabelecidos em função dos dados obtidos dos ensaios realizados com a água. Justifica-se este aproveitamento pelo fato de ambos os trabalhos terem explorado o leito do mesmo riacho.

## 7. ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 7.1 Levantamento topográfico

#### 7.1.1 Para Levantamento Planimétrico

O levantamento planimétrico da área da bacia hidráulica apontou para uma área de 30.080m<sup>2</sup>, distribuída ao longo dos 630 m de extensão à montante do local escolhido para construção da parede da barragem, cujo comprimento à montante, medido foi de 60 m, conforme descrição na Figura 16.

Figura 16: Imagem do local em estudo para execução da barragem



Fonte: Google Earth, 2019

#### 7.1.2 Para Levantamento Altimétrico

O levantamento altimétrico apontou para uma declividade longitudinal de 4,45% do comprimento à montante do septo, portanto, menor que o máximo recomendado para implantação de barragem subterrânea, que é de 5%.

#### 7.1.3 Sondagem

No furo 1, escavado na metade do comprimento do septo, a rocha foi encontrada a 2,85 m de profundidade, enquanto os outros dois furos, localizados nas extremidades do septo, essas profundidades foram de 0,50m e 0,85m, denotando o

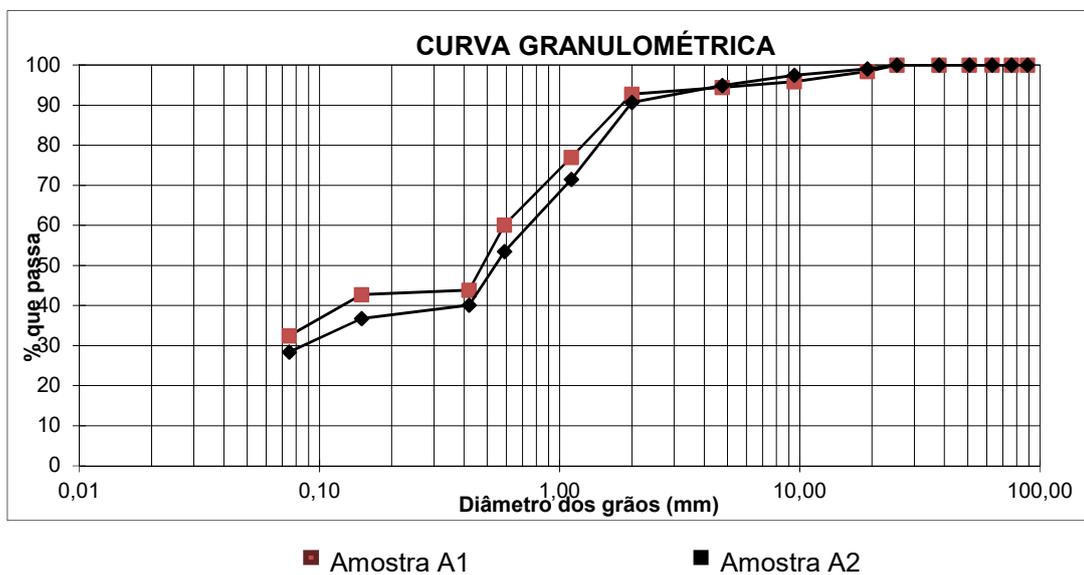
quase afloramento da rocha, como tecnicamente recomendado para ancoragem do barramento.

## 7.2 Quanto ao solo

### 7.2.1 Para Granulometria

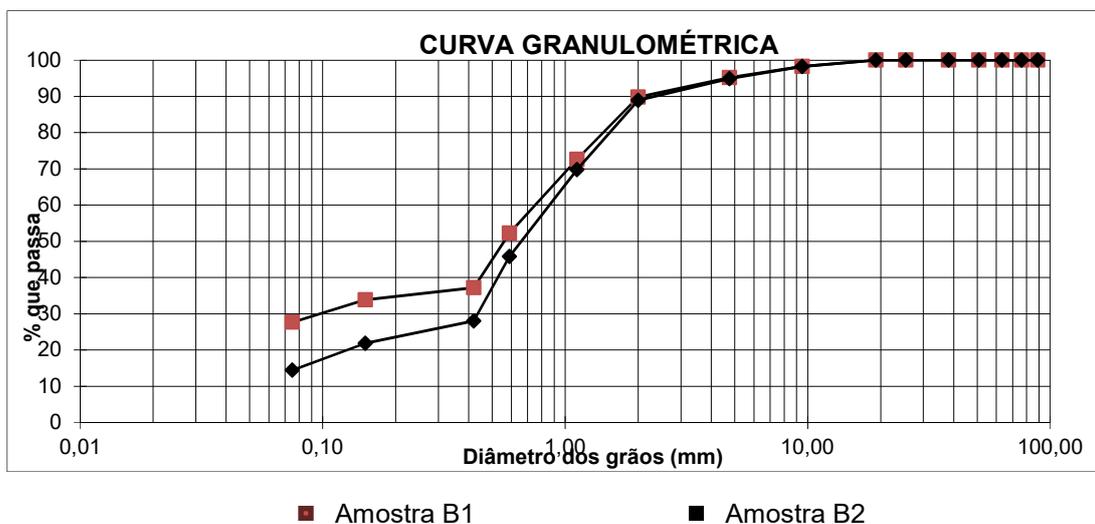
Os resultados dos ensaios de granulometria são apresentados nos gráficos das figuras 17 e 18.

Figura 17: Gráfico da curva granulométrica das amostras A1 e A2



Fonte: Próprio autor, 2019

Figura 18: Gráfico da curva granulométrica das amostras B1 e B2



Fonte: Próprio autor, 2019

Após a análise dos resultados dos ensaios de granulometria constatou-se a predominância de areia sobre os teores de argila, silte e pedregulho, conforme o resumo apresentado na Tabela 2, caracterizando a natureza aluvionar do solo do leito do riacho.

Tabela 2: Classificação granulométrica do material

<b>Furo</b>	<b>Amostra</b>	<b>Argila + Silte</b>	<b>Areia</b>	<b>Pedregulho</b>
1	A1	32	61	7
	A2	28	63	9
2	B1	38	52	10
	B2	31	61	8

Fonte: Próprio autor, 2019

### 7.2.2 Para Densidade Real

Os resultados dos ensaios de densidade real das amostras são apresentados na Tabela 3, a seguir.

Tabela 3: Densidade real das amostras

<b>Furo</b>	<b>Amostra</b>	<b>Densidade Real</b>
1	A1	2,70
	A2	2,62
2	B1	2,64
	B2	2,64

Fonte: Próprio autor, 2019

### 7.2.3 Para Porosidade

Os resultados dos ensaios de porosidade das amostras são apresentados na Tabela 4, a seguir:

Tabela 4: Porosidade das amostras colhidas

<b>Furo</b>	<b>Amostra</b>	<b>Profundidade</b>	<b>Porosidade</b>
1	A1	0,5 - 1m	39.47%
	A2	1 - 1,5m	39.23%
2	B1	0,5 - 1m	45.66%
	B2	1 - 1,5m	45.01%

Fonte: Próprio autor, 2019

Sabendo-se que a porosidade da areia está entre 32,1% e 47,2% e considerando que o solo estudado tem predominância de areia sobre as frações mais finas e mais grossas, como demonstrado nos ensaios de granulometria, conclui-se que o solo do local estudado tem uma boa capacidade de retenção de água, o que o torna apto para implantação de uma barragem subterrânea, no âmbito desse quesito.

#### 7.2.4 Para Matéria Orgânica

Na Tabela 5, estão descritos os resultados encontrados para o teor de matéria orgânica do solo.

Tabela 5: Ensaio de matéria orgânica

<b>Furo</b>	<b>Amostra</b>	<b>Umidade</b>	<b>Matéria Orgânica</b>
1	A1	3,07%	2,66%
	A2	2,45%	2,53%
2	B1	3,21%	2,96%
	B2	2,89%	2,41%

Fonte: Próprio autor, 2019

Considerando o resultado disposto na tabela observa-se que a presença de matéria orgânica no solo do terreno estudado oferece vantagens para a implantação da

barragem, uma vez que este elemento contribui positivamente para utilização do local para plantio.

### 7.3 Quanto à qualidade da água

Os resultados dos ensaios realizados em laboratório obtidos por Ferreira (2017) estão representados nas tabelas 6 e 7 e são respectivamente os valores dos parâmetros de qualidade e os correspondentes aos parâmetros necessários para obtenção do índice de RAS. Realizou-se análises em dois períodos distintos referentes aos meses de março e abril de 2017, com o objetivo de identificar variações da qualidade da água em decorrência das diferentes precipitações pluviométricas.

Tabela 6: Resultado dos parâmetros utilizados

Parâmetro	Unidade	Março	Abril
Condutividade	US/cm	495.90	497.00
STD	Mg/l	-	273.35
Cloreto	Mg/l	4.82	7.93
Nitrato	Mg/l	2.24	0,44
Coliformes Totais	NMP/100ml	2.4 E3	2.4 E3
Escherichia Coli	NMP/100ml	2.0 E3	1.2 E3

Fonte: FERREIRA, 2017

Tabela 7: Parâmetros utilizados para obtenção da RAS

Parâmetro	Unidade	Março	Abril
Magnésio	Mg/l	-	35.04
Calcio	Mg/l	-	32.00
Sódio	Mg/l	-	8.00
RAS	Mg/l	-	0.49

Fonte: FERREIRA, 2017

Para identificação do uso correto da água, Ferreira (2017) ainda classificou a mesma utilizando os padrões considerados aceitáveis para os fins de consumo humano e animal e para irrigação.

### 7.3.1 Para Consumo Humano

Os resultados encontrados nas análises foram comparados a Resolução 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, Portaria 2914 de 12/12/2011 do Ministério da Saúde. Na tabela 8 apresentada a seguir, estão relacionados esses dados e em destaque os parâmetros de reprovação da utilização da água para o consumo humano.

Tabela 8: Comparação dos resultados com a resolução CONAMA N° 357/05 e a Portaria 2914/2011 do ministério da saúde

Parâmetro	Unidade	Resultados		CONAMA N° 357/05 (VMP)	2914/2011 (MS) (VMP)
		Março	Abril		
STD	Mg/l	-	273.35	500	1.000
Cloreto	Mg/l	4.82	7.93	250	250
Nitrato	Mg/l	2.24	0.44	10	10
Coliformes	NMP em 100	2.4	2.4	NE	0
Escherichia coli	NMP em 100	2.0	1.2	-	0

Legenda: VMP: Valor Máximo Permitido

NMP: Número mais Provável  
Especificado

NE: Não

Fonte: FERREIRA, 2017

### 7.3.2 Para Consumo Animal

Para Costa e outros (2011) os padrões de qualidade de água para animais em relação ao exigido para seres humanos são baixos devido à grande variedade de espécies existentes. No entanto os mesmos definem valores médios de tolerância que podem ser adotados como mostra a Tabela 9.

Tabela 9: Limites Médios de Tolerância à sais em relação a STD (Sólidos Totais Dissolvidos)

Animal	STD (Mg/l)
Aves	2.860
Porcos	4.220
Cavalos	6.435
Gado de Leite	7.180
Gado de Corte	10.000
Carneiros	12.900

Fonte: LARAQUE (1991) apud. FERREIRA, 2017.

De acordo com Molle & Cadier (1992) *apud* Ferreira (2017) o resíduo seco vale aproximadamente 0.64 CE. Isso significa dizer que em uma água com 1000 US/cm contém cerca de 640mg/l de resíduo seco, de onde se conclui que a água está apta para dessedentação de animais, já que todos os níveis observados na barragem estão abaixo de 1.000 US/cm.

### 7.3.3 Para Irrigação

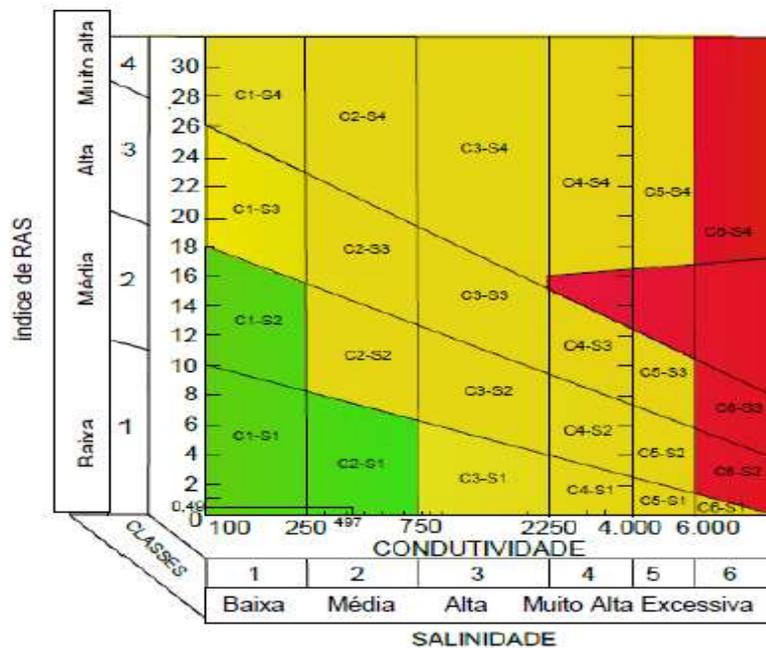
Para fins de Irrigação para agricultura utilizou-se da classificação de Riversidade, que é uma combinação entre a condutividade elétrica e a Razão de Absorção de Sódio (RAS). Para se obter o valor de RAS é necessário que se conheçam as concentrações de  $Na^+$ ,  $Ca^{++}$  e  $Mg^{++}$  que são respectivamente sódio, cálcio e magnésio. (FERREIR, 2017)

A RAS é calculada pela fórmula:

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{(Ca^{++} + Mg^{++})}}$$

Ao considerar que os valores obtidos de  $Na^+$ ,  $Ca^{++}$  e  $Mg^{++}$  obtidos nas análises realizadas foram respectivamente: 8mg/l; 32mg/l; 35mg/l obteve-se que a RAS: 0.49mg/l. Quanto ao nível de salinidade mais elevado constatado foi de 497.00 US/cm. Sendo assim esses dados foram observados no diagrama de Riversidade (Figura 19) que define o perigo de salinização, avaliando a qualidade da água para fins de irrigação.

Figura 19: Diagrama de Riverside



- Água de boa qualidade para fins de irrigação
- Águas utilizáveis na irrigação com precauções
- Águas não aptas para irrigação

Fonte: U.S. SALINITY LABORATORY STAFF, 1954 adaptado por FERREIRA, 2017

O diagrama possui classes que variam entre C1-S1 a C6-S4, onde “S” indica o sódio expresso pelo índice da RAS e “C” a salinidade expressa pelo índice de condutividade elétrica. No caso específico da água da barragem em estudo, nota-se que a mesma pertence à classe C2-S1, sendo considerada uma água de boa qualidade para fins de irrigação (FERREIRA, 2017).

## 8. CONCLUSÃO

Todas as conclusões obtidas do trabalho foram baseadas nos levantamentos topográficos, nas sondagens, nos ensaios laboratoriais realizados com as amostras de solos e nos resultados aproveitados da pesquisa de Ferreira (2017).

Para melhor compreensão do leitor dividiu-se as conclusões do trabalho em três etapas, a seguir:

### a) Quanto às condições topográficas do local

Os estudos topográficos atestaram que a área da bacia é relativamente pequena, principalmente em virtude da sua reduzida e uniforme largura, bem como do seu reduzido comprimento à montante, o qual não atinge os 1.000 m recomendados para implantação de uma barragem subterrânea. Apesar disto o local não inviabilizaria tecnicamente a implantação do empreendimento, havendo, porém, apenas uma restrição relativa à capacidade de acumulação da barragem e a consequente destinação de área para plantio, se esta fosse a finalidade da sua construção.

O levantamento altimétrico ainda constatou que a declividade longitudinal do riacho é de 4,45%, que está aquém da inclinação máxima recomendada, que é de 5,0%, o que viabilizaria a implantação do empreendimento no local estudado.

### b) Quanto às condições geotécnicas do solo local

A espessura do depósito aluvial na profundidade de 2,85 m, constatada através do furo de sondagem no interior da bacia hidráulica, superando a espessura mínima recomendada para tal, que é de 2,0 m. Outro fator positivo das condições locais é a tendência de afloramento da rocha nas ombreiras do suposto septo, onde esta se apresentou às profundidades de 0,85 m e 0,50 m, nas suas extremidades direita e esquerda, respectivamente.

Todos os ensaios de solo realizados apontam para a total viabilidade técnica de implantação da barragem, uma vez que os ensaios de granulometria demonstraram a natureza aluvionar do solo, tendo em vista sua textura média, cujas características são mais apropriadas para manejo dentro de barragens subterrâneas. A menor densidade das partículas dos solos nos horizontes superficiais, evidenciada pelos

ensaios de densidade real, reiteram os maiores teores de matéria orgânica verificados nestes horizontes, concorrendo positivamente para o credenciamento do local para implantação da barragem. Os elevados teores de porosidade das amostras ensaiadas, nas quais predominaram a presença de areia, denotam uma menor capacidade de retenção de água, porém, favorecem a capacidade de drenagem interna e realimentação hídrica da barragem, propiciando o uso do local para irrigação. Esta condição ainda é favorecida pela notável presença de restos vegetais, como raízes, folhas, etc., comprovada pela matéria orgânica presente nas amostras ensaiadas.

c) Quanto aos parâmetros de qualidade da água subterrânea local

No que se refere à qualidade da água pode-se concluir pela viabilidade técnica da implantação da barragem, desde que esta não seja utilizada para consumo humano, dada a presença de coliformes fecais, encontrados nas amostras de água coletadas do poço localizado no leito do mesmo riacho em estudo, conforme pesquisa realizada por Ferreira (2017).

Finalmente, conclui-se pela viabilidade técnica da implantação da barragem desde que seu uso fique restrito à irrigação e dessedentação de animais.

Como recomendação para futuros trabalhos, sugere-se um melhor detalhamento dos estudos realizados neste trabalho, com vistas à maior confiabilidade dos resultados aqui encontrados.

## 9. BIBLIOGRAFIA

ANA. Agência Nacional das Águas. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/panorama-das-aguas/quantidade-da-agua>> Acessado em 15/08/2018.

ARAUJO, S. M. S. **A Região Semiárida do Nordeste do Brasil: Questões Ambientais e Possibilidades de uso Sustentável dos Recursos**. Campina Grande, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13600: Determinação do teor de matéria orgânica por queima a 440°C**. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8592: Materiais refratários densos granulados - Determinação da densidade de massa aparente, da absorção e da porosidade aparente - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2012.

BRITO, L., PEREIRA, L., & MELO, R. (s.d.). **Disponibilidade hídrica subterrânea**. Acesso em 11 de 05 de 2019, disponível em Agência Embrapa de Informação Tecnológica.

CIRILO, J.A. & Costa, W.D., **Barragem subterrânea: uma alternativa a considerar**, Revista Informativa da Associação Brasileira de Recursos Hídricos, No 2, julho/2000.

CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/>> Acessado em 26/11/2018

CORREIA, R. C. et. al. **A Região semiárida brasileira**. 2011.

COSTA, J. W. de S.; MATIAS, J. A. B. **Barragem subterrânea**. III Simpósio Brasileiro de captação de água de chuva no semiárido. Petrolina – PE, 2001.

COSTA, W., & FILHO, W. **Barragens subterrâneas & barragens de assoreamento**. Recife: UFPE, 2017.

COSTA, M. **Avaliação do potencial de aproveitamento de reservatórios constituídos por barragens Subterrâneas o semiárido Brasileiro**. Recife. (2002).

COSTA, W. D. **Barragem Subterrânea X Barragem De Assoreamento: Aspectos construtivos e finalidades**. Recife, 2014.

COSTA, W. D. et. al. **Barragem Subterrânea: uma forma eficiente de conviver com a seca**. Recife, 2011.

CPRM, **Programa de recenseamento de fontes de abastecimento por água subterrânea no Estado do Ceará: DIAGNÓSTICO DO MUNICÍPIO DE MILAGRES**. Fortaleza, 1998.

CUNHA, T. J. F. et. al. **Principais solos do Semiárido tropical brasileiro: caracterização, potencialidades, limitações, fertilidade e manejo**. 2003.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER 093/94 Determinação da densidade real. 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER 041/94 Preparação de amostras para ensaios de caracterização. 1994.

FARIAS, Soahd Arruda Rached (Ed.). **Barragens Subterrâneas**. Campina Grande: Gráfica Agenda, 2008. Cap. 4. p. 57-71.

FERREIRA, C. H. **Avaliação da salinidade da água de uma barragem subterrânea no município de Milagres - CE.** Milagres, 2017

FILHO, A. A. *et. al.* **Vigilância e Controle da Qualidade da Água para Consumo Humano.** Brasília: Ministério da Saude. (2011).

FRANÇA, F. **Indicadores integrados de sustentabilidade e análise de decisão multicriterial de barragens subterrâneas no estado Ceará.** Fortaleza, 2016.

HEATH, R. **Hidrologia Basica de Água Subterranea.** North Carolina, 1982.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas.** Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/milagres>> Acessado em 15/02/2019

JACOBI, P. R., & GRANDISOLI, E. **Água e Sustentabilidade desafios, perspectivas e soluções.** São Paulo: IEE-USP e Reconnectta, 2017.

JÚNIOR, R. C. **Determinação da densidade aparente de matérias-primas - fundentes, minério de ferro e resíduos.** Fortaleza, 2014.

LIMA, Y. F. *et. al.* **Análise de cloreto nas águas subterrâneas do instituto.** (2015).

LIMA, A. O. **Nova abordagem metodológica para locação, modelagem 3d e monitoramento de barragens subterrâneas no semiárido brasileiro.** Natal, 2013.

MOURA, S. B. M. *et. al.* **Clima e água de chuva no semiárido,** 2002.

NASCIMENTO, J., AZEVEDO, M., & FARIAS, S.. **Barragens Subterrâneas.** Campina Grande: CNPq. (2008).

NYS, E.; ENGLE, N. L.; MAGALHÃES, A. R. **Secas no Brasil: Política e gestão proativas.** Brasília, CGEE, 2016.

OLIVEIRA, J. B.; ALVES, J. J.; FRANÇA, F. M. C.; **Barragem Subterrânea.** Fortaleza: Secretaria dos Recursos Hídricos, 2010. 31p.

PIRES, A. P. N.; FERREIRA, I. M. **Cercas e secas: reflexões sobre água no Nordeste Semiárido.** Catalão, 2012.

RIBEIRO, W. C. **Geografia política da água na América Latina.** São Paulo, 2008. *et al.* SANTOS, M. O. **Barragem subterrânea água para uso na agropecuária,** Niterói, 2009.

SEAPAC, Serviço de Apoio aos Projetos Alternativos Comunitários, 2014. Disponível em: <<http://seapacrn.blogspot.com/2014/03/familia-ganha-barragem-subterranea.html>> Acessado em 24/08/2018.

SIGSAB, População do Semiárido Estimada para 2014, Campina Grande. Disponível em: <<http://sigsab.insa.gov.br/>> Acesso em 26/02/2019.

SILVA, M. S. L. da *et al.* **Barragem subterrânea.** Embrapa Semiárido. Instruções Técnicas, Petrolina- PE, 2001.

SIRH, Sistema de Informação de Recursos Hídricos do Ceará, 2014. Disponível em: <<https://www.srh.ce.gov.br/>>.

SOBRAL, P. M. *et. al.*. **Comparação entre barragens subterrâneas e superficiais**. Garanhuns, 2010.

SUASSUNA, J.; **Semi-árido**: proposta de convivência com a seca. Recife, 2007.

SUDENE, Delimitação do Semiárido, Recife. Disponível em: <<http://www.sudene.gov.br/delimitacao-do-semiarido>>, Acesso em 25/02/2019.

VALE, B. C., & HAIE, N. **Efeitos prejudiciais na saúde humana derivados por ingestão de nitratos na zona vulnerável n.º1 (Freguesias: Apúlia, Fão) e na zona não vulnerável (Freguesias: Fonte Boa, Gandra, Gemeses, Rio Tinto)**. Santa Maria, 2005.

VERLENGIA, F.; GARGANTINI, H. **Determinação de matéria orgânica em solos** - Estudo comparativo de métodos. Campinas, 1968.