

SUMÁRIO EXECUTIVO

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA SUSTENTÁVEL PARA CAPTAÇÃO E ARMAZENAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL EM COMUNIDADES RURAIS DE BAIXA RENDA DO SEMIÁRIDO NO ANO DE 2012

SECRETARIA DE AVALIAÇÃO E GESTÃO DA INFORMAÇÃO
MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO SOCIAL E COMBATE À FOME

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA SUSTENTÁVEL PARA CAPTAÇÃO E ARMAZENAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL EM COMUNIDADES RURAIS DE BAIXA RENDA DO SEMIÁRIDO NO ANO DE 2012

RESUMO

A utilização de sistemas sustentáveis para captação e armazenamento de água pluvial é uma alternativa para amenizar o problema da escassez de água no semiárido nordestino. Esta tecnologia pode fornecer água de boa qualidade para o produtor rural atender o consumo humano. O presente trabalho tem por objetivo geral desenvolver um sistema para captação e armazenamento de água pluvial utilizando materiais recicláveis (resíduos de PET e de areia lavada). Esta pesquisa foi realizada no Laboratório de Engenharia da Universidade Potiguar e no Parque Zoobotânico da Universidade Federal Rural do Semiárido, ambos localizados em Mossoró-RN. Foram confeccionados doze corpos de prova, sendo seis com a formulação 1 (areia lavada+cimento+resíduo de areia lavada) e os outros seis com a formulação 2 (areia lavada+cimento+resíduo de areia lavada+resíduo de garrafa PET triturado). Os corpos de prova foram submetidos a ensaios de compressão após tempos de cura de 7, 14 e 28 dias no Laboratório de Engenharia. No Parque Zoobotânico foi instalado um sistema sustentável de captação e armazenamento de água pluvial com capacidade para 10 m³ utilizando a formulação 2. Os resultados indicaram que o concreto ecológico com formulação cimento+ areia lavada+resíduo de areia lavada+resíduo de garrafa PET triturado+água correspondente ao traço 1:2:3:0,6:0,7 suportou carga máxima média de 15,45 megapascal, suficiente para a confecção do piso e das placas de cisternas destinadas ao armazenamento de água pluvial; os corpos de prova com resíduos de PET suportaram menores cargas em relação aos tradicionais, tal fato está associado ao maior tamanho do PET (0,6 a 0,9 mm). Pode-se aumentar a resistência do concreto reduzindo a granulometria dos resíduos de garrafas PET triturados para a faixa de 0,001 a 0,1 mm; a cisterna ecológica para armazenamento de água pluvial foi confeccionada com um custo de R\$ 858,00, sendo tal valor inferior ao custo médio de R\$ 900,00 para o sistema tradicional em Mossoró-RN, reforçando a sua importância para o semiárido como tecnologia limpa de baixo custo, fácil implantação e ambientalmente aceita pela sociedade; os resíduos (PET e resíduo de areia lavada) não proporcionaram alteração na qualidade de água armazenada; e o ensaio de estanqueidade revelou que o sistema não apresentou vazamentos.

PALAVRAS-CHAVE: sistema sustentável, captação de água de chuva, PET.

INTRODUÇÃO

A disponibilidade e usos da água na região Nordeste do Brasil, particularmente na região semiárida, continuam a ser uma questão crucial no que concerne ao seu desenvolvimento. É fato que grandes esforços vêm sendo empreendidos com o objetivo de implantar infraestruturas capazes de disponibilizar água suficiente para garantir o abastecimento humano e animal e viabilizar a irrigação.

Todavia, esses esforços ainda são, de forma global, insuficientes para resolver os problemas decorrentes da escassez de água, o que faz com que as populações continuem vulneráveis à ocorrência de secas, especialmente quando se trata do uso difuso da água no meio rural. De qualquer forma, a ampliação e o fortalecimento da infraestrutura hídrica, com uma gestão adequada, constituem requisitos essenciais para a solução do problema, servindo como elemento básico para minimizar o êxodo rural e promover a interiorização do desenvolvimento.

O semiárido nordestino tem como traço principal as frequentes secas que tanto podem ser caracterizadas pela ausência, escassez, alta variabilidade espacial e temporal das chuvas. Não é rara a sucessão de anos seguidos de seca. Geoambientalmente, além das vulnerabilidades climáticas do semiárido, grande parte dos solos encontra-se degradado e os recursos hídricos caminham para a insuficiência ou apresentam grau elevado de poluição (SUASSUNA, 1999).

O problema de escassez de água que afeta o semiárido nordestino torna-se mais crítico na área denominada "Polígono das Secas", na qual o índice pluviométrico é inferior à 800 mm ano⁻¹ e onde ocorre grande evaporação causada pela elevada média térmica (REBOUÇAS, 1997). De acordo com Morengo (2008), as mudanças climáticas que vêm ocorrendo no planeta poderão aumentar substancialmente as secas no nordeste brasileiro.

Marengo (2008) prevê ainda que na área designada como "Polígono das Secas", as mudanças climáticas poderão causar problemas mais severos, devido às fragilidades da própria região, sendo que os mais vulneráveis serão os agricultores pobres que praticam a agricultura de subsistência, o que poderá trazer mais pobreza e exclusão social nesta região.

Os problemas causados pelas secas para as populações rurais são similares nas regiões áridas e semiáridas do mundo. A seca no semiárido brasileiro afeta milhões de pessoas, animais e dizima a agricultura de subsistência. Por esta razão, considera-se a captação da água pluvial como uma alternativa viável para o desenvolvimento social e econômico dessa região, tendo em vista que as fontes de água subterrânea existentes são na sua maioria escassas e salobras e a malha hidrográfica da região é composta por mananciais intermitentes na sua maioria (SUASSUNA, 1999; MARENGO, 2008).

A variabilidade pluviométrica no semiárido do Nordeste é um fato; porém, apesar da irregularidade da ocorrência das precipitações pluviométricas, sabe-se que esta é uma das regiões semiáridas mais úmidas do mundo, tornando absolutamente viável a instalação de sistemas de captação e uso racional da água pluvial. O "programa um milhão de cisternas" foi negociado junto ao governo federal em

1999, por meio da Agência Nacional de Água (ANA), tendo iniciado sua execução em 2001. No período de 2001 a 2009 foram implantadas mais de 290 mil em 1076 municípios do semiárido brasileiro (NEVES et al., 2010).

Segundo França et al. (2010), o sistema de captação de águas pluviais é uma das alternativas para amenizar a escassez de água e conservar as águas dos mananciais. As águas pluviais são captadas e armazenadas principalmente para consumo humano. O sistema completo de captação de água pluvial para consumo humano constituiu-se de área de captação (telhado); subsistema de condução (calhas e dutos); dispositivo para desvio das primeiras chuvas (by-pass); e reservatório (cisterna).

No semiárido nordestino além do problema da escassez de água existe a disposição inadequada dos resíduos sólidos urbanos que pode comprometer a qualidade do ambiente e a saúde dos seres humanos. Atualmente, a humanidade vem buscando alternativas para reciclagem dos resíduos sólidos urbanos proporcionando renda para as populações que sobrevivem desta atividade (ABIPET, 2012). O problema do progresso humano resulta cada vez mais em grandes quantidades de resíduos sólidos urbanos, na maioria das vezes lançados de forma inadequada no ambiente (lixões).

Quando se fala em resíduos sólidos de difícil degradação, o PET (poli tereftalato de etileno) ocupa posição de destaque (ABIPET, 2012). Este polímero já faz parte da vida das pessoas, pois é amplamente utilizado devido à sua versatilidade e baixo custo de produção. Porém, sua degradação na natureza é muito lenta, o que garante sua existência no meio ambiente por várias gerações, resultando no surgimento de impactos ambientais negativos.

No Brasil o PET foi introduzido em 1988, trazendo indiscutíveis vantagens ao consumidor, mas, em contrapartida veio o desafio de uma destinação correta para todo este resíduo. Segundo dados da Associação Brasileira da Indústria do PET, no ano de 2007 um total de 53,5% do polímero consumido foi reciclado no Brasil (ABIPET, 2012).

As principais aplicações do PET reciclado são: fibras têxteis, tapetes, carpetes, não-tecidos, embalagens, filmes, fitas, cordas, compostos, frascos e outros. Porém, o polímero reciclado é proibido de retornar ao seu mercado original, o de garrafas de bebidas, pois legislação impede o contato direto do plástico reciclado com produtos alimentícios, a não ser que processos comprovadamente eficazes garantam a completa limpeza do material.

A utilização de PET e de resíduos da construção civil como matéria-prima na confecção de cisternas em ambientes rurais consiste em uma possibilidade inovadora para amenizar os efeitos da escassez de água no semiárido nordestino.

OBJETIVOS

O presente trabalho tem por objetivo geral desenvolver um sistema sustentável para captação e armazenamento de água pluvial visando o fornecimento de água de boa qualidade para o abastecimento humano em ambientes rurais do semiárido nordestino. Como objetivos específicos apresentam-se:

- Realizar ensaios de compressão em corpos de prova com a formulação 1 (areia lavada+cimento+resíduo de areia lavada) e com a formulação 2 (areia lavada+cimento+resíduo de areia lavada+resíduo de PET);
- Implantar em área experimental um protótipo de cisterna; e
- Construir uma unidade demonstrativa para difundir a importância da educação ambiental e da necessidade do uso sustentável dos resíduos sólidos e dos recursos hídricos no semiárido nordestino.

REVISÃO DE LITERATURA

ESCASSEZ DE ÁGUA

O Nordeste do Brasil situa-se entre as latitudes 1º e 18º 30' Sul e as longitudes 34º 30' e 40º 20' Oeste e ocupa a área de 1.219.000 km², que equivalem a aproximadamente um quinto do território brasileiro. A região abrange os estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia, nos quais vivem 18,5 milhões de pessoas e dos quais 8,6 milhões estão na zona rural (CIRILO et al., 2007).

O clima da porção semiárida é caracterizado por um regime de chuvas fortemente concentrado em quatro meses (fevereiro-maio) e uma grande variabilidade interanual. As fortes secas que flagelam a região sempre moldaram o comportamento das populações e foram preponderantes para a formulação de políticas públicas regionais.

O Nordeste semiárido é uma região escassa em águas fluviais. Essa situação pode ser explicada em função da variabilidade temporal das precipitações e das características geológicas dominantes, onde predominam solos rasos sobre rochas cristalinas e, conseqüentemente, existindo baixa troca de água entre o corpo hídrico e o solo adjacente. O resultado é a existência de densa rede de rios intermitentes, com poucos rios perenes e destaque para os rios São Francisco e Parnaíba. Os rios de regime intermitente são encontrados na porção nordestina que se estende desde o Ceará até à região setentrional da Bahia. Entre estes, destaca-se o Jaguaribe, no Ceará, pela sua extensão e potencial de aproveitamento: em sua bacia hidrográfica encontram-se alguns dos maiores reservatórios do Nordeste, como Castanhão e Orós (CIRILO et al., 2007).

No que se refere à ocorrência de águas subterrâneas, como o território nordestino é em mais de 80 % constituído por rochas cristalinas, há predominância de águas com teor elevado de sais captadas em poços de baixa vazão, da ordem de 1 m³ h⁻¹. Exceção ocorre nas formações sedimentares, onde as águas normalmente são de melhor qualidade e pode-se extrair maiores vazões, da ordem de dezenas a centenas de m³ h⁻¹, de forma contínua (CIRILO 2008).

Rebouças (1997) ressaltou, a partir de estudos anteriores, que as reservas de água doce subterrânea nas bacias sedimentares do Nordeste permitem a captação anual de 20 bilhões de m³ por ano, sem colocar em risco as reservas existentes. Esse volume equivale a 60 % da capacidade do reservatório de Sobradinho, na Bahia

(34 bilhões de m³), principal responsável pela regularização das vazões do rio São Francisco; ou o triplo da capacidade do açude Castanhão (6,7 bilhões de m³). Trata-se, portanto, de volume considerável de água. Segundo Cirilo (2008), é necessário ressaltar, no entanto, as peculiaridades dessas reservas, que são:

- concentração espacial (no caso do semiárido, Piauí e Bahia detêm os principais aquíferos. No restante da região, as ocorrências são de manchas sedimentares esparsas);
- em muitos aquíferos, a profundidade encarece o custo de implantação e operação dos poços (Chapada do Araripe, município de Bodocó, no lado pernambucano, há um poço com 950 m de profundidade e capacidade de 140 m³ h⁻¹, onde o nível dinâmico da água está a mais de 300 m abaixo da superfície do solo); e
- existe muita incerteza sobre os mecanismos de recarga dos aquíferos sedimentares do semiárido, bem como sobre a dimensão dessa recarga; por essa razão, uma exploração intensiva pode colocar em risco essas fontes.

SISTEMAS DE CAPTAÇÃO E ARMAZENAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

As tecnologias de captação e manejo de água de chuva utilizam a parte da água que, de outra maneira, retornaria à atmosfera por meio da evaporação direta ou a transpiração de plantas não alimentares, infiltraria no lençol freático, ou escoaria superficialmente para os corpos hídricos. Além de fornecer água de beber para as famílias do semiárido nordestino na época da seca, armazenadas em cisternas, as tecnologias de captação e manejo de água de chuva são indispensáveis para fornecer água para plantas e animais (FRANÇA et al., 2010).

De acordo com Gnadlinger (2008), no semiárido nordestino, existem várias experiências de tecnologias de sucesso de captação e manejo de água de chuva para uso humano, na sua maioria desenvolvida por agricultores familiares, as quais podem ser multiplicadas, dentre as quais se destacam:

CISTERNAS PARA USO HUMANO:

O modelo de cisterna de placas de cimento, com capacidade para 16 m³ de água pluvial, é encontrado no semiárido brasileiro. Esta tecnologia foi usada inicialmente em comunidades rurais e hoje estão sendo construídas, também, por pequenos empreiteiros e prefeituras. A cisterna de placas de cimento é enterrada no solo até mais ou menos dois terços da sua altura. Esta consiste de placas de concreto no traço 1 : 4, com tamanho de 0,50 por 0,60 m e com três centímetros de espessura. Tais placas são fabricadas no próprio local de construção da cisterna em simples moldes de madeira. A parede da cisterna é levantada com essas placas finas, à partir do solo cimentado. As placas são sustentadas por barras de ferro de 6,0 mm e arame galvanizado nº 12, em seguida as placas são rebocadas (GNADLINGER, 2008; NASCIMENTO et al., 2009; FRANÇA et al., 2010).

BARRAGEM SUBTERRÂNEA:

Este sistema aproveita as águas de escoamentos superficiais durante eventos de precipitações pluviométricas e de pequenos riachos intermitentes disponíveis na

região semiárida. Para tal, é escavada uma valeta transversal nos estreitamentos dos pequenos corpos hídricos, até chegar à base cristalina. As saídas da água podem ser fechadas com barro apilado ou lona de PVC. Toda barragem deve ter um sangradouro, para drenar o excesso de água e evitar que a força da água quebre a barragem. Durante o período chuvoso acumula-se água no solo (e não nas superfícies, como nas barragens tradicionais). No período da seca a área a montante da barragem pode ser plantada com todo tipo de fruteiras, verduras e culturas anuais, podendo aproveitar a água armazenada a partir de um poço que obrigatoriamente tem que ser construído (OLIVEIRA et al., 2010).

RECICLAGEM DO PET

O PET é classificado como um termoplástico quando são analisadas suas propriedades de solubilidade e fusibilidade. Termoplásticos são aqueles que não sofrem alterações em sua estrutura química durante o aquecimento até a sua fusão. Os termoplásticos, após serem resfriados, podem ser novamente fundidos. Isso significa que, depois de moldado, o PET pode ser remoldado (PEREIRA et al., 2002).

Segundo Pereira et al. (2002), o PET é usado na fabricação de fibras têxteis (como o Tergal®), filmes (para adesivos, por exemplo) e embalagens para refrigerantes, águas e sucos. Diversos outros líquidos podem estar embalados em PET: óleos comestíveis, medicamentos, cosméticos, produtos de higiene e limpeza, destilados, isotônicos e cervejas, entre outros.

O PET proporciona alta resistência mecânica (impacto) e química, suportando o contato com agentes agressivos. Possui excelente barreira para gases e odores. Por isso é capaz de conter os mais diversos produtos com total higiene e segurança para o produto e o consumidor. A embalagem de PET tem mostrado ser o recipiente ideal para a indústria de bebidas em todo o mundo, reduzindo custos de transporte e produção, evitando desperdícios em todas as fases de produção e distribuição. Através dos benefícios proporcionados para a indústria e varejo, o PET oferece ao consumidor um produto seguro, moderno e mais acessível, democratizando mercados e permitindo que todas as classes alcancem produtos de alta qualidade.

De acordo com ABIPET (2012), o PET pode ser utilizado em diversos setores da economia com destaque para: utensílios domésticos e vestuário (roupas, cabides, edredons, travesseiros, mantas, tapetes, carpetes, bichos de pelúcia, embalagens de produtos de limpeza e de alimentos, vasos para plantas, cordas de varal, vasouras e outros); material escolar e de escritório (réguas, relógios, porta lápis e canetas); construção civil (caixas d'água, tubos e conexões, torneiras, piscinas, telhas, bancadas e pias, tintas e vernizes); indústria de automóveis e caminhões (revestimento de carpete, elementos termoacústicos, forração do teto, tampas de bagageiro, para-choques, partes da cabine e elementos aerodinâmicos); sinalização viária (placas indicativas de direção, luminosos, sinalização horizontal. Displays e indicadores); transporte coletivo (banco de ônibus e trens; e metrô possuem partes com PET reciclado); material esportivo (bolas, chuteiras, bancos dos estádios, uniformes, as redes e sistemas de drenagem); e comunicação (aparelhos de telefone celular).

Estima-se que em 2009, o Brasil utilizou cerca de 471.000 toneladas de PET em diversos tipos de empreendimentos (ABIPET, 2012). Os problemas ambientais do PET consistem no entupimento dos sistemas de coleta de águas pluviais nos centros urbanos, na redução da penetração de luz nos mananciais hídricos (afetando a fotossíntese das algas e consequentemente a produção de oxigênio dissolvido), na proliferação de vetores de doenças (dengue, malária e febre amarela), na poluição de visual de solos e mananciais hídricos; e na lenta degradação do material ao longo do tempo.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado em duas etapas, na etapa 1 foram realizados ensaios com corpos de prova em laboratório específico. Enquanto, a etapa 2 consistiu na implantação de um sistema sustentável para captação e armazenamento de água pluvial em ambientes rurais do semiárido do nordeste.

ETAPA 1: ENSAIOS COM CORPOS DE PROVA

Esta etapa foi realizada no Laboratório de Engenharia da Universidade Potiguar (UnP), localizada em Mossoró-RN. Para tal, foram preparados corpos de prova confeccionados com cimento portland (massa específica de $3,12 \text{ g cm}^{-3}$), areia lavada (massa específica de $2,67 \text{ g cm}^{-3}$), resíduo do peneiramento de areia lavada (massa específica de $1,60 \text{ g cm}^{-3}$), água (massa específica de $1,00 \text{ g cm}^{-3}$) e resíduo de garrafa PET triturado (massa específica de $0,45 \text{ g cm}^{-3}$). Na Figura 1 estão apresentados os materiais recicláveis (resíduos de garrafa PET triturados e peneiramento de areia lavada) utilizados na confecção dos corpos de prova para ensaios de compressão.

Figura 1 - Ilustração dos resíduos de garrafas de PET triturados (a) e do peneiramento de areia lavada (b) utilizados na confecção dos corpos de prova para ensaios de compressão.



As garrafas PET trituradas foram adquiridas de recicladores, tendo os resíduos comprimentos variando de 0,6 a 0,9 milímetros (Figura 1a), enquanto o resíduo do peneiramento de areia lavada foi obtido de canteiros de obras da UFERSA em Mossoró-RN (Figura 1b), tendo como granulometria predominante a de 2,0 mm, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Ensaio de granulometria de resíduo de areia lavada utilizado na confecção de corpos de prova para ensaios de compressão.

GRANULOMETRIA	PERCENTUAL (%)
MAIOR OU IGUAL A 9,52 MM	1,3
6,35 MM	1,7
4,76 MM	4,6
4,0 MM	4,1
2,00 MM	47,9
1,68 MM	9,7
MENOR QUE 1,68 MM	30,7
TOTAL	100,0

A Tabela 2 apresenta as relações de partes, de volumes iguais ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), de cimento, areia lavada, resíduos de garrafa PET triturado, resíduo do peneiramento de areia lavada e água nos respectivos corpos de provas.

Tabela 2 - Composição dos corpos de prova.

CORPO DE PROVA	CIMENTO	AREIA LAVADA	ÁGUA	RESÍDUO DE AREIA LAVADA	RESÍDUO DE GARRAFA PET TRITURADO
FORMULAÇÃO 1: AREIA LAVADA+CIMENTO+RESÍDUO DE AREIA LAVADA	UMA PARTE	DUAS PARTES	0,7 PARTE	TRÊS PARTES	ZERO PARTE
FORMULAÇÃO 2: AREIA LAVADA+CIMENTO+RESÍDUO DE AREIA LAVADA+RESÍDUO DE GARRAFA PET TRITURADO	UMA PARTE	DUAS PARTES	0,7 PARTE	TRÊS PARTES	0,6 PARTE

Com cada uma das formulações apresentadas na Tabela 2, foram confeccionados doze corpos de prova com auxílio de formas cilíndricas de dimensões de 10,0cm de diâmetro por 20cm de altura (para a moldagem), recipiente para amassamento manual da argamassa, soquete e espátula. Seis corpos de prova foram confeccionados com areia lavada+cimento+resíduo de areia lavada para os tempos de cura de 7, 14 e 28 dias, enquanto os outros seis corpos de prova foram de areia lavada+cimento+resíduo de areia lavada+resíduo de garrafa PET triturado para os mesmos tempos de cura.

Os corpos de prova foram moldados segundo as dimensões de 10,0cm de diâmetro por 20,0cm de altura, seguindo a proporção 1: 2: 3 (cimento: areia lavada: resíduos de areia lavada) conforme recomendado pela NBR 5738 (ABNT, 1994). Após moldagem nas formas, os corpos de prova foram deixados em repouso para que ocorressem os tempos de cura, determinado pela norma NBR 5738, de 7, 14 e 28 dias (ABNT, 1994), posteriormente os mesmos foram retificados por meio do equipamento apresentado na Figura 2a, conforme sugerido na NBR 5738 (ABNT, 1994).

A preparação do compósito obedeceu às porcentagens de cimento, areia lavada, resíduo de areia lavada, resíduo de PET e água apresentados na Tabela 2, havendo inicialmente uma mistura a seco (areia lavada + cimento + resíduo de areia

lavada ou areia lavada + cimento + resíduo de areia lavada + resíduo de garrafa PET triturado) e em seguida foi adicionada 0,7 parte de água para cada parte de cimento (em volume) nos dois tipos de mistura. Esta argamassa foi misturada até ficar homogênea (tomando-se cuidado para eliminar vazios e bolhas de ar) e posteriormente o material foi depositado e compactado nos moldes.

Decorrido o tempo de cura, foram realizados os ensaios de compressão sendo utilizada uma prensa hidráulica Modelo PC200C (0 a 320 MPa), apresentada na Figura 2b.

Figura 2 - Ilustração dos equipamentos utilizados na retificação dos corpos de prova (a) e nos ensaios de avaliação da resistência à compressão (b) do Laboratório de Engenharia da UnP em Mossoró-RN.



ETAPA 2: IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA SUSTENTÁVEL DE CAPTAÇÃO E ARMAZENAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

Esta etapa foi realizada no Parque Zoobotânico da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) em Mossoró-RN sob as coordenadas geográficas 5°12'30,37" de latitude Sul, 37°19'08,41" de longitude Oeste e altitude de 26 m. Na Figura 3 está apresentada a área destinada à construção do sistema sustentável de captação e armazenamento de água pluvial no Parque Zoobotânico em Mossoró-RN, no período de dezembro de 2010 a dezembro de 2011.

A região apresenta clima muito quente e semiárido, conforme a classificação climática de Köppen, com temperatura média anual de 27,9 °C, temperatura máxima média de 33,3 °C e temperatura mínima média de 22,5 °C. A insolação média da região é de aproximadamente 3041 horas ano⁻¹, com evaporação média de 2190 mm ano⁻¹, umidade relativa média de 66,8 % e precipitação média de aproximadamente 677 mm ano⁻¹ segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Figura 3 - Ilustração da área destinada à construção do sistema sustentável de captação e armazenamento de água pluvial no Parque Zoológico em Mossoró-RN.



FONTE: GOOGLE EARTH (2010).

A cisterna sustentável instalada em área experimental da UFRSA (Figura 4a) consta dos seguintes componentes:

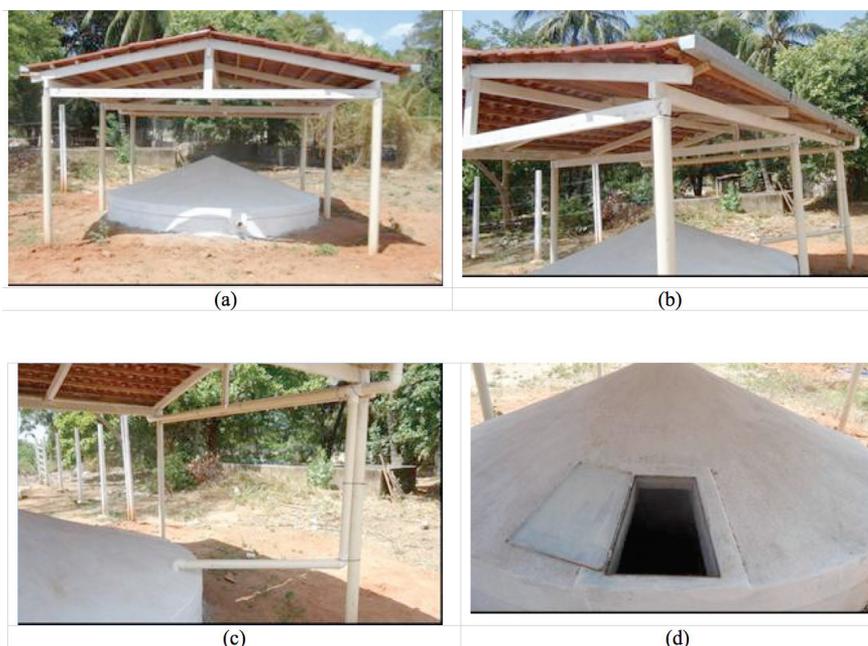
SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA PLUVIAL:

Constituído de telhado em duas águas com área de 20 m² dotado de duas canaletas de metal para recolhimento da água pluvial, posteriormente conduzida por tubos de 75 e 100 mm até a cisterna (Figuras 4b,c). O telhado foi montado em estrutura de madeira dotada de caibros e ripas apoiada em seis pilares de concreto. No telhado foram utilizadas telhas de PET (marca TELHA LEVE) adquiridas em empresa especializada, as mesmas foram apoiadas em estacas de madeira e de concreto. Este tipo de telha tem como vantagens a economia de até 50% no custo final do telhado (6 kg por m², quase 10 vezes menos que os outros tipos de telha), impede a ação de limo e fungos, não ressecam e nem trincam, proteção anti-irradiação ultravioleta e 40 anos de vida útil.

SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DA ÁGUA PLUVIAL:

Composto de cisterna cilíndrica com diâmetro de 3,60 m e 1,0 m de profundidade com capacidade de armazenamento de 10 m³ de água pluvial. A profundidade de 1,0 m foi utilizada para evitar vazamentos em função da menor pressão exercida pela água na cisterna. A cisterna possui uma abertura superior para permitir a coleta e o monitoramento da qualidade da água (Figura 4d). As placas e o piso da cisterna foram confeccionados com a formulação 2 (areia lavada+cimento+resíduo de areia lavada+resíduo de garrafa PET triturado) apresentada na Tabela 2. As placas foram assentadas em armação de arame liso nº 12 e ferragem de ¼" e revestido com argamassa no traço 1:2.

Figura 4 - Ilustração do sistema sustentável de captação e armazenamento de água pluvial implantado na área experimental da UFERSA em Mossoró-RN, destacando: vista frontal (a), calha metálica coletora de água pluvial (b), tubulação de 75 e 100 mm utilizadas para a condução da água pluvial (c) e abertura da cisterna para inspeção (d).



MONITORAMENTO DO SISTEMA SUSTENTÁVEL DE CAPTAÇÃO E ARMAZENAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

Este sistema foi monitorado durante um período de seis meses com relação ao surgimento de vazamentos e deformação do material em condições de campo. No entanto, para validação final da tecnologia é necessária avaliação quanto ao surgimento de vazamentos por período de dois anos.

DIFUSÃO DA TECNOLOGIA E EDUCAÇÃO AMBIENTAL

Este sistema é utilizado na UFERSA como unidade demonstrativa para aulas práticas das disciplinas Saneamento Rural e Tratamento de Resíduos, Sólidos, Líquidos e Gasosos dos estudantes do Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental, fortalecendo o conhecimento sobre as tecnologias inovadoras de convivência com o semiárido, bem como nas aplicações do PET para obtenção de produtos inovadores. O sistema também é utilizado em cursos de extensão da UFERSA como os de treinamento de técnicos da EMATER.

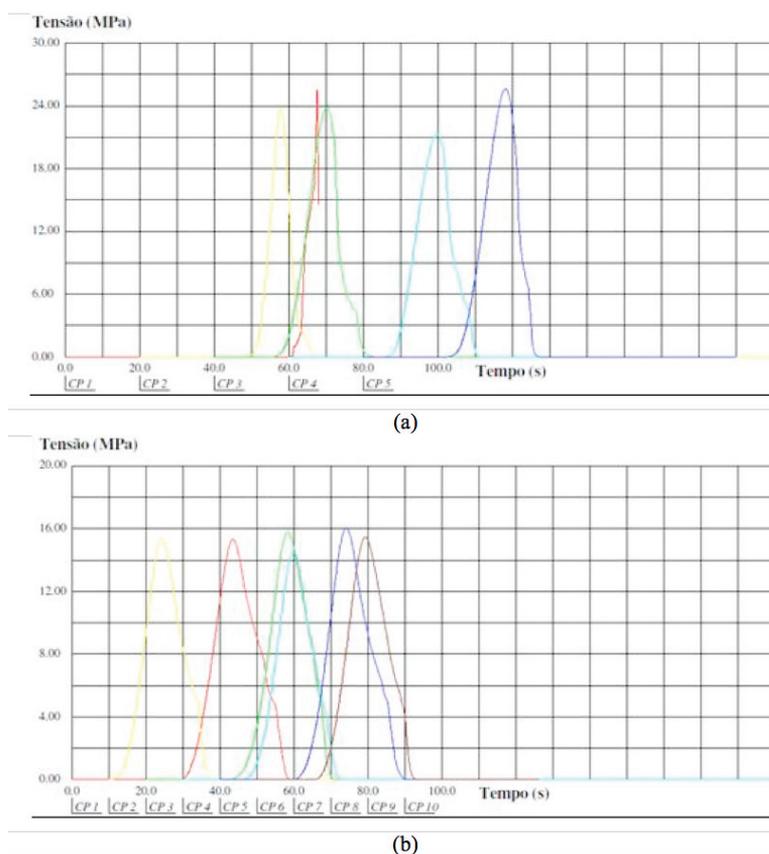
RESULTADOS E DISCUSSÃO

ETAPA 1: ENSAIOS COM CORPOS DE PROVA

Na Figura 5 estão apresentados os resultados dos ensaios de compressão dos corpos de prova confeccionados com a formulação 1 (areia lavada+cimento+resíduo

de areia lavada) e formulação 2 (areia lavada+cimento+resíduo de areia lavada+resíduo de garrafa PET triturado) nos períodos de cura de 7, 14 e 28 dias. Deve-se ressaltar que para o período de cura de 28 dias, as curvas de tensão das repetições 5 e 6 estão sobrepostas, pelo fato de apresentarem valores idênticos, razão pela qual não aparece a repetição 6 na Figura 5.

Figura 5 - Resultados dos ensaios de compressão dos corpos de prova confeccionados com a formulação 1 - areia lavada+cimento+resíduo de areia lavada (a) e formulação 2 - areia lavada+cimento+resíduo de areia lavada+resíduo de garrafa PET triturado (b) no período de cura de 7 dias (Repetição 1 — e Repetição 2 —), 14 dias (Repetição 3 — e Repetição 4 —) e 28 dias (Repetição 5 — e Repetição 6 —).



A Tabela 3 apresenta uma comparação entre a carga máxima obtida para os dois grupos de seis corpos de prova nos tempos de cura de 7, 14 e 28 dias, com as respectivas médias, desvios-padrão e coeficientes de variação.

Tabela 3 - Cargas máximas suportadas pelos corpos de prova ensaiados com tempos de cura de 7, 14 e 28 dias, com suas respectivas médias, desvios-padrão e coeficientes de variação.

FORMULAÇÃO1: AREIA LAVADA+CIMENTO+RESÍDUO DE AREIA LAVADA		FORMULAÇÃO2: AREIA LAVADA+CIMENTO+RESÍDUO DE AREIA LAVADA+RESÍDUO DE PET	
CORPO DE PROVA	CARGA MÁXIMA (MPa)	CORPO DE PROVA	CARGA MÁXIMA (MPa)
REPETIÇÃO 1 (7DIAS)	25,57	REPETIÇÃO 1 (7DIAS)	15,35
REPETIÇÃO 2 (7DIAS)	23,72	REPETIÇÃO 2 (7DIAS)	15,42
REPETIÇÃO 3 (14 DIAS)	23,89	REPETIÇÃO 3 (14 DIAS)	15,76
REPETIÇÃO 4 (14 DIAS)	21,30	REPETIÇÃO 4 (14 DIAS)	14,59
REPETIÇÃO 5 (28 DIAS)	25,64	REPETIÇÃO 5 (28 DIAS)	16,06
REPETIÇÃO 6 (28 DIAS)	25,64	REPETIÇÃO 6 (28 DIAS)	15,49
MÉDIA	24,29	MÉDIA	15,45
DESVIO-PADRÃO	1,71	DESVIO-PADRÃO	0,50
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)	7,36	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)	3,21

Na Figura 5 e Tabela 3 constatou-se que os corpos de prova contendo cimento+areia lavada +resíduos de PET+resíduos de areia lavada suportaram menores cargas em relação os que continham cimento+areia lavada +resíduos de areia lavada. Tal resultado contraria o obtido por Dyer e Mancini (2009) que obtiveram maiores cargas nos corpos de prova de argamassa contendo resíduo de garrafa PET triturado com diâmetros de 0,001 a 0,1 milímetros. Enquanto, no presente trabalho os resíduos de garrafas PET triturados foram maiores, tendo comprimento variando de 0,6 a 0,9 milímetros, resultando em menor resistência do concreto. A carga máxima média dos corpos de prova com resíduos de garrafa PET triturados aos 28 dias de cura foi de 15,78 MPa, inferior ao valor médio de 25,65 MPa obtidos nos corpos de prova sem resíduos de garrafa PET triturados. O coeficiente de variação dos corpos de prova sem resíduos de PET (7,36%) foi superior à dos corpos de prova com resíduos de garrafa PET triturados (3,21%). Apesar da presença do resíduo de garrafa PET triturado ter reduzido a resistência do concreto, o valor médio de 15,45 MPa é mais do que suficiente para permitir a construção de cisternas de 10 e 16 m³ para armazenamento de água pluvial para consumo humano. A vantagem da formulação 2 consiste na substituição parcial de recursos naturais (cimento e areia lavada) por resíduos sólidos urbanos na confecção de argamassas e concretos ecológicos.

ETAPA 2: IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA SUSTENTÁVEL DE CAPTAÇÃO E ARMAZENAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

Na Tabela 4 está apresentada a estimativa de materiais de consumo e custos de uma cisterna construída com resíduos de garrafa PET triturados e do peneiramento de areia lavada com capacidade armazenadora para 10 m³ em Mossoró-RN. Nessa tabela não foram incluídas as quantidades de resíduos de garrafa PET triturados e de areia lavada em função destes materiais serem encontrados em abundância nas áreas urbanas e em comunidades rurais em expansão. No entanto, deve-se ressaltar que

em algumas áreas rurais do semiárido existe dificuldade de aquisição do resíduo de garrafa PET triturado na granulometria de 0,6 a 0,9 mm. Verificou-se que o custo estimado da cisterna de 10 m³ utilizando a formulação areia lavada+cimento+resíduo de areia lavada+resíduo de garrafa PET triturado foi de R\$ 858,00 tal valor é inferior à R\$ 900,00 previsto para o sistema convencional em Mossoró-RN. Considerando um domicílio com cinco pessoas e consumo per capita de água baixo no valor de 10 L habitante⁻¹ d⁻¹, sendo 2 L habitante⁻¹ d⁻¹ para consumo humano direto, constatou-se que a cisterna proposta abastece esta família por um período de 200 dias.

Tabela 4 - Estimativa de materiais de consumo e custos de uma cisterna construída com resíduos de garrafas PET triturados e de areia lavada com capacidade armazenadora para 10 m³ em Mossoró-RN no ano de 2012

ESPECIFICAÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE	VALOR UNITÁRIO (R\$)	VALOR TOTAL (R\$)
CIMENTO CII 50 KG	SC	10	24	240,00
AREIA LAVADA	M ³	4	60	240,00
FERRO CÂ 50 BITOLA DE ¾"	BARRA	9	16	144,00
ARAME GALVANIZADO Nº 12	KG	12	7	84,00
IMPERMEABILIZANTE 4 KG	UND	1	39	39,00
TAMPA METÁLICA	UND	1	60	60,00
CAL PARA PINTURA 5 KG	UND	1	5	5,00
TUBO DE PVC 100 MM X 6 M	UND	2	20	40,00
JOELHO DE PVC 100 MM	UND	2	3	6,00
TOTAL				858,00

No período de maio a outubro de 2011 a cisterna foi preenchida com 10 m³ de água da rede de abastecimento. Não foram observados vazamentos e nem o surgimento de rachaduras na cisterna ao longo do período de ensaios. Para a construção da cisterna foram utilizadas 1400 garrafas PET de 2,0 L, equivalente a 70 Kg de resíduos de garrafas PET triturados. A utilização conjunta dos resíduos de garrafas PET triturados e resíduos de areia lavada proporciona economia de 15% em cimento e areia lavada na confecção de cisternas.

CONCLUSÕES

O concreto ecológico com formulação cimento+areia lavada+resíduo de areia lavada+resíduo de garrafa PET triturado+água correspondente ao traço 1:2:3:0,6:0,7 suportou carga máxima média de 15,45 MPa, suficiente para a confecção do piso e das placas de cisternas destinadas ao armazenamento de água pluvial.

Os corpos de prova com resíduos de garrafas PET triturados suportaram menores cargas em relação aos tradicionais, tal fato está associado ao maior tamanho do resíduos de garrafas PET.

A cisterna ecológica para armazenamento de água pluvial foi confeccionada com um custo de R\$ 858,00 inferior a R\$ 900,00 da cisterna tradicional em Mossoró-RN, reforçando a sua importância para o semiárido com tecnologia limpa de baixo custo, fácil implantação e ambientalmente aceita pela sociedade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIPET - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE EMBALAGENS PET. Reciclagem. Disponível em: <www.abipet.org.br> Acessado em: 14 de janeiro de 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738. Modelagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos. Rio de Janeiro: ABNT, 1994, 9p.

CIRILO, J. A. Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido brasileiro. Estudos Avançados, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 61-82. 2008.

CIRILO, J. A.; GÓES, V.C.; ASFORA, M.C. Integração das águas superficiais e subterrâneas. In: Cirilo, J. A.; CABRAL, J. J. S. P.; FERREIRA, J. P. L.; OLIVEIRA, M. J. P. M.; LEITÃO, T. E.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; GÓES, V. C. (orgs.). O uso sustentável dos recursos hídricos em regiões semi-áridas. Editora Universitária da Universidade Federal de Pernambuco. Recife: ABRH, p. 167-175. 2007.

DYER, P. P. O.; MANCINI, S. D. A utilização de resíduos de pet poli (tereftalato de etileno) como agregado em argamassa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 25., Anais... Recife-PE: ABES, 2009. (CR-ROM)

FRANÇA, F. M. C.; OLIVEIRA, J. B.; ALVES, J. J.; FONTENELE, F. C. B.; FIGUEIREDO, A. Z. Q. Cisterna de placas: construção, uso e conservação. Fortaleza: Secretaria dos Recursos Hídricos, 2010. 33p. (Cartilhas temáticas tecnologias e práticas hidroambientais para convivência com o semiárido; v. 2)

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

GNADLINGER, J. Técnica de diferentes tipos de cisternas, construídas em comunidades rurais do Semiárido brasileiro. Juazeiro, BA: IRPAA, 2008. 11p.

MORENGO, J. A. Água e mudanças climáticas. Estudos Avançados, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 83-96. 2008.

NASCIMENTO, J. W. B.; LIMA, V. L. A.; SANTOS, J. S. Desenvolvimento de um modelo de captação de água de chuva para o semiárido do Brasil. Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 1, p. 121-136. 2009.

NEVES, R. S.; MEDEIROS, J. C. A.; SILVEIRA, S. M. B.; MORAIS, C. M. M. Programa um milhão de cisternas: guardando água para semear vida e colher cidadania. Agriculturas, Rio de Janeiro, v. 7, n. 3, p. 7-11. 2010.

PEREIRA, R. C. C.; MACHADO, A. H.; SILVA, G. G. (Re) Conhecendo o PET. Química nova na escola, n.15, p. 3-5. 2002.

REBOUÇAS, A. C. Água na Região Nordeste: desperdício e escassez. Estudos Avançados, São Paulo, v. 11, n. 29, p. 127-154. 1997.

SUASSUNA, J. Água potável no semi-árido: escassez anunciada. 1999. Disponível em:<www.fundaj.gov.br>. Acessado em: 14 de dezembro de 2011.