

Uso de técnicas alternativas para captação, infiltração e reuso de águas: estudo de caso em Cajazeiras (PB)

Luanda Maria Sousa da Silva ^[1], Nataely Pereira da Silva ^[2], Tássia dos Anjos Tenório de Melo ^[3], Katharine Taveira de Brito Medeiros ^[4]

[1] luandamariaeng@gmail.com. [2] nataelypereiracz@outlook.com. [3] melo.tassia@yahoo.com.br. [4] kathytdebrito@hotmail.com.
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba

RESUMO

Nos últimos anos, os reservatórios de diversos estados nordestinos entraram em colapso, resultando no racionamento e até em decretação de estado de emergência hídrica. Mesmo assim, algumas edificações já consolidadas na área urbana não utilizam qualquer forma de aproveitamento de águas pluviais para estocagem e posterior reuso. Assim, este estudo propõe o uso de técnicas alternativas para armazenamento e reuso de águas em uma edificação já consolidada na área urbana de regiões semiáridas, partindo-se da percepção de que determinadas funções das técnicas compensatórias podem ser aplicadas tanto para áreas com elevados índices pluviométricos, quanto para áreas opostas. Para tal, foi realizado um estudo sobre os aspectos naturais da cidade e identificados locais passíveis de instalação de técnicas alternativas, sendo estas determinadas com o auxílio do software *TecAlt 1.0*, programa destinado a auxiliar nas tomadas de decisão quanto ao manejo de águas pluviais. Os resultados foram favoráveis quanto às indicações de técnicas passíveis de implantação, mesmo para as condições de semiaridez do local de estudo. Estudos futuros poderão ser realizados, com o intuito de dimensionar as técnicas indicadas e obter seus respectivos orçamentos.

Palavras-chave: Semiárido. Armazenamento. Captação. Reuso de Águas.

ABSTRACT

In recent years the reservoirs of several northeastern states have collapsed, resulting in water rationing and even the state of emergency decree. Even so, some buildings which have already been consolidated in the urban area do not use any form of rainwater for storage or subsequent reuse. Thus, this study proposes the use of alternative techniques for the storage and reuse of water in a building which has already been consolidated in the urban area of semi-arid regions, based upon the perception that certain functions of the compensatory techniques can be applied to areas with high rainfall indices, as well as opposite zones. In order to do so, we carried out a study on the natural aspects of the city and identified sites that enabled the installation of alternative techniques selected by TecAlt 1.0 software, a program used to assist decision making in storm water management. Regarding suggestions for implantation techniques, The results were positive, even for the semiarid conditions, which is the case of the study place. Researchers may carry out future studies on the topic with the purpose of assessing and budgeting the suggested techniques.

Keywords: *Semi-arid. Storage. Catchment. Water Reuse.*

1 Introdução

Segundo o Ministério da Integração Nacional (SDR/MI, 2005), mais de 10% do território brasileiro é caracterizado como região semiárida, sendo a maior porção dessa extensão inserida na região Nordeste. As condições de semiaridez estão relacionadas, principalmente, aos seguintes aspectos naturais: irregularidade espacial e temporal das precipitações pluviométricas; precipitações médias anuais iguais ou inferiores a 800 mm; temperaturas médias anuais entre 23 e 27°; e evapotranspiração média de 2000 mm/ano (ALBUQUERQUE; RÉGO, 2013).

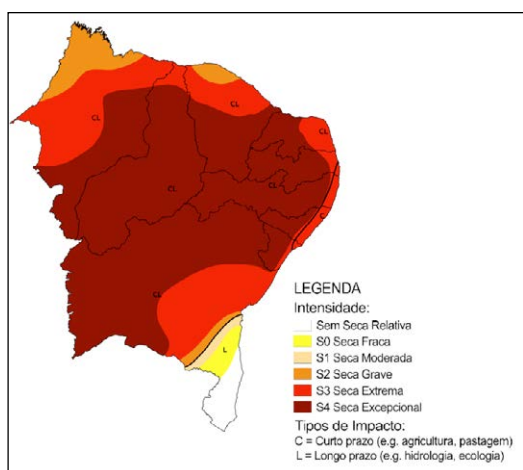
A principal fonte da rede de abastecimento do semiárido nordestino são os açudes que, por serem mananciais superficiais, ficam à mercê da reposição desses reservatórios por meio de chuvas que ocorrem irregularmente e em um curto período do ano (GALVÃO *et al* 2002). Mesmo com a ocorrência de eventos que garantam um maior volume de água, o armazenamento nos açudes é comprometido pelos elevados índices de evaporação (GALVÃO *et al*, 2013).

Essas condições apresentadas nas regiões semiáridas caracterizam o fenômeno denominado seca, o qual atinge grande porção do Nordeste brasileiro, sobretudo pelos cenários de estiagens prolongadas (Figura 1). Segundo Paulo *et al.* (2015), seca é um desequilíbrio natural e temporário em relação à ocorrência de precipitações, geralmente caracterizadas pelas alturas pluviométricas abaixo da média e incertezas na frequência, duração e intensidade de suas ocorrências.

Nos últimos anos, os reservatórios de diversos estados nordestinos entraram em colapso, resultando, em muitas cidades, no racionamento de água e até em decretação de estado de emergência. Diante dessa conjuntura, órgãos do governo federal e estados implantaram projetos e ações emergenciais para amenização dos cenários de escassez hídrica, como a construção de cisternas, a perfuração e recuperação de poços e o abastecimento por carro-pipa.

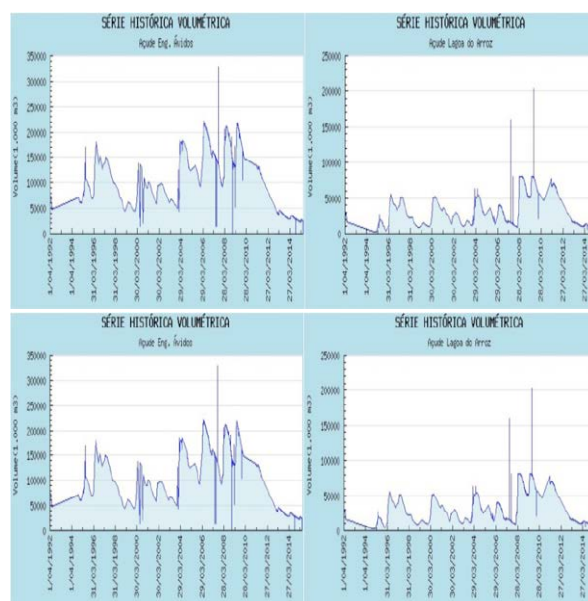
Cajazeiras, no estado da Paraíba, é uma das cidades inclusas na delimitação do semiárido brasileiro e que apresenta problemas no abastecimento de água, motivado pelos baixos níveis dos corpos d’água que abastecem a cidade. Segundo o IBGE (2010), 81,3% da população de Cajazeiras vivem na área urbana, refletindo uma área com atividades econômicas e serviços de infraestrutura já estabelecidos. Mesmo com acesso à infraestrutura de abastecimento de água, a população fica à mercê da irregularidade temporal e espacial das precipitações pluviométricas, comprometendo gravemente os níveis dos principais açudes que abastecem a cidade e, conseqüentemente, o acesso à água. A Figura 2 apresenta as séries históricas volumétricas dos principais açudes que abastecem e se localizam em Cajazeiras: Engenheiros Ávidos (Bacia do Alto Piranhas) e Lagoa do Arroz (Bacia do Rio do Peixe).

Figura 1– Abrangência da seca na região Nordeste para o mês de dezembro de 2016



Fonte: Adaptado de <<http://monitordesecas.ana.gov.br/>>.

Figura 2 – Séries históricas volumétricas dos açudes Engenheiros Ávidos e Lagoa do Arroz, respectivamente



Fonte: DNOCS, 2015.

O monitoramento dos açudes, realizado pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), reflete uma queda brusca no volume de água nos açudes em, praticamente, 22 anos. Essa diminuição do volume compromete o fornecimento de água à população, principalmente nos meses de menor ocorrência de precipitação (março, setembro e outubro). Dessa maneira, principalmente pela baixa frequência de precipitações, é essencial que as águas pluviais sejam armazenadas para posterior reuso em casos de racionamento ou falta no abastecimento.

Algumas edificações, já consolidadas em regiões semiáridas, não utilizam as técnicas implantadas por órgãos governamentais ou qualquer outra forma de aproveitamento de águas pluviais para estocagem e posterior reuso. Os principais motivos dessa não utilização podem ser o desconhecimento da existência de técnicas alternativas para tais fins e por serem edificações já inseridas em áreas urbanizadas, onde o abastecimento de água é regular.

A partir disso, este estudo busca indicar técnicas alternativas, já utilizadas em áreas com elevados índices pluviométricos, para áreas urbanizadas em regiões semiáridas. Essas técnicas alternativas são denominadas técnicas compensatórias em drenagem urbana e visam minimizar os efeitos da urbanização sobre os processos hidrológicos, buscando benefícios para a qualidade de vida e a preservação ambiental (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2005). As técnicas auxiliam no resgate dos processos envolvidos no ciclo hidrológico, maximizando a geração de escoamento na fonte, potenciando o controle da qualidade das águas e a recarga de aquíferos (CHAHAR; GRAILLOT; GAUR, 2012).

A indicação dessas técnicas para regiões semiáridas parte da percepção de que determinadas funções das técnicas compensatórias podem ser aplicadas tanto para áreas com elevados índices pluviométricos quanto para áreas opostas. Algumas funções podem ser elencadas: captação e infiltração, não só das águas pluviais captadas pelas cobertas das residências mas também por outras superfícies impermeáveis como ruas e calçadas; reaproveitamento de águas residuais, após processos naturais de filtração, retenção e remoção de poluentes, proporcionados pela composição estrutural da técnica alternativa e; qualidade paisagística, por meio da utilização de vegetação em jardins ou telhados verdes.

2 Abordagem teórica e conceitual

2.1 Técnicas implantadas no Semiárido

Ao longo dos anos, alguns métodos baseados na estocagem das águas nos períodos chuvosos e utilização de poço, para consumo nos períodos de estiagem, são implantados para possibilitar a convivência da população com as condições de semiaridez. Esses métodos são implementados a partir de conhecimentos empíricos, de ações governamentais e ou de pesquisas e projetos acadêmicos – as cisternas e as barragens subterrâneas são as técnicas mais utilizadas e conhecidas.

As cisternas são reservatórios fechados para armazenamento das águas pluviais, geralmente, construídas de placas de cimento pré-moldadas, adotando uma volumetria cilíndrica e com capacidade média de 16 mil litros. A cisterna é associada a um sistema de captação coleta e transporta, através de calhas, as águas da chuva escoadas dos telhados.

O Programa 1 Milhão de Cisternas (P1MC) resulta da preocupação acerca da convivência da população com o semiárido, tendo como proposta a construção de 1 milhão de cisternas de placa para o armazenamento de água da chuva em regiões rurais do semiárido brasileiro. Iniciado em 2003, o programa construiu e cadastrou, até maio de 2016, aproximadamente 585 mil cisternas rurais, promovendo grande visibilidade e disseminação da técnica (SILVA, 2006).

De acordo com Gnadlinger (2015), as cisternas do tipo de placa, utilizadas no P1MC, são parcialmente enterradas (cerca de dois terços de sua altura), de cor branca, para diminuir a temperatura da água, e fabricadas com arame liso e placas de concreto, curvadas de acordo com o raio da parede, rebocada interna e externamente (Figura 3).

Figura 3 – Cisternas de placa e sistema de captação do telhado do P1MC



Fonte: Disponível em: <<http://www.asabrazil.org.br/acoes/p1mc>>.

Além das cisternas instaladas nas residências pelo P1MC, alguns moradores das regiões semiáridas, compreendendo a importância do projeto e da estocagem de água, implantaram cisternas particulares em suas residências (Figura 4).

Figura 4 – Cisternas de placa e sistema de captação do telhado instaladas pelo morador da residência em Cajazeiras, PB



Fonte: Autoras.

As barragens estão relacionadas ao barramento de água para acumulação, diferenciando-se em dois principais modelos: a barragem superficial e subterrânea. De acordo com Costa (2015), barragem superficial é um barramento realizado em um curso de água que tem como finalidade primordial armazenar água para consumo ou regularizar um curso hídrico. Muitas vezes, essas barragens não conseguem armazenar água de maneira duradoura, por causa, principalmente, do fenômeno da evaporação.

A barragem subterrânea é constituída por um barramento no depósito aluvial de um rio ou riacho, visando deter o fluxo subterrâneo após cessado o escoamento superficial, formando um reservatório subterrâneo ou ampliando o lençol freático. As barragens subterrâneas proporcionam também a umidificação do solo, permitindo o plantio durante todo o ano (COSTA, 2015).

Confrontando a grande quantidade de barragens superficiais no nordeste brasileiro, as barragens subterrâneas contornam as altas taxas de evaporação, proporcionando condições favoráveis à população, mesmo em períodos de estiagem (COSTA, 2015).

Sua construção, segundo COSTA (2015), envolve os processos de escavação da trincheira perpendicular ao escoamento do rio, disposição de um septo impermeável (geralmente lona plástica), construção de cacimbão a montante e junto ao septo para captar

e monitorar os níveis de água, enchimento da vala e colocação do enrocamento para facilitar a infiltração da água escoada (Figura 5).

Figura 5 – Construção de barragem subterrânea



Fonte: Cirilo, 2003.

2.2 Técnicas Compensatórias

As técnicas compensatórias são classificadas em medidas não estruturais e estruturais. As medidas não estruturais utilizam meios naturais na redução do escoamento, não englobando obras civis, mas sim questões sociais, em que a participação popular é fundamental para um bom desempenho dessas medidas, como a Educação Ambiental. Já as medidas estruturais envolvem obras de engenharia destinadas a minimizar os volumes gerados, destinando-se a armazenar e reter as águas escoadas superficialmente, permitindo o controle quali-quantitativo das vazões geradas (NASCIMENTO, BAPTISTA, 2009; RIGHETTO, MOREIRA, SALES, 2009; ROY-POIRIER, CHAMPAGNE, FILION, 2010).

Segundo Canholi (2005), as técnicas compensatórias de controle na fonte (in situ), geralmente são inseridas próximas aos locais de geração de deflúvios (edificações e ou superfícies impermeáveis no geral). As técnicas compensatórias são projetadas, geralmente, com as funções ou com uma das funções de retenção, infiltração, filtração e armazenamento das águas pluviais.

Retenção é a captura das águas pluviais com uso de dispositivos, as quais podem retornar ao ciclo hidrológico através dos processos de interceptação vegetal, evapotranspiração e infiltração, ou podem ter outra finalidade, como o reúso. Infiltração é o movimento da água da superfície para o interior do solo, distribuindo-se através de seus poros pelo processo de percolação. Os dispositivos baseados na infiltra-

ção permitem a evacuação das águas, controlam os fluxos de água gerados e contribuem para a recarga dos aquíferos.

Filtração é uma das principais funções, pois tende a melhorar a qualidade da água que entra na técnica. É totalmente dependente da composição estrutural da técnica a ser utilizada. O armazenamento, como o próprio nome já diz, propõe o armazenamento das águas infiltradas no interior do próprio dispositivo. Essa função pode ser utilizada, principalmente, em áreas onde o tipo de solo abaixo do dispositivo tenha uma baixa capacidade de infiltração.

3 Metodologia

Inicialmente foi realizado um diagnóstico local, escolhendo-se nosso objeto de estudo como o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-IFPB, campus Cajazeiras, e analisando-se condicionantes naturais e antrópicos locais. As condicionantes naturais estão relacionadas aos fatores ambientais locais como regime pluviométrico, temperatura, topografia, tipo de solo, cursos d'água existentes (superficiais e subterrâneos). Já as condicionantes antrópicas estão relacionadas à própria edificação e sua infraestrutura como projetos arquitetônico e complementares do campus.

Em seguida foram identificados os pontos mais relevantes para implantação das técnicas alternativas, utilizando-se aspectos locais de acumulação de água pluviais (água que fica acumulada em determinado local ou superfície, após ocorrência de precipitação) e superfícies impermeáveis, com geração de deflúvio superficial (concomitantemente à ocorrência das precipitações, as superfícies impermeáveis geram deflúvios que podem ser aproveitados no mesmo local onde são gerados).

Por fim, foram apontadas as técnicas alternativas que melhor se enquadram nos locais identificados, com auxílio do software TecAlt 1.0, programa destinado a auxiliar nas tomadas de decisão quanto ao manejo de águas pluviais, definindo-as após a inserção de dados de entrada referentes às características da área do estudo (dimensões), tipo de empreendimento (atual ou antigo), disponibilidade de área para implantação da técnica, existência de exutório, profundidade do lençol freático e tipo de solo. Após a inserção dos dados de entrada, o programa fornece resultados quanto à escolha das técnicas, classificando-as em 4 grupos, podendo ser indicada mais de uma delas para a situação proposta (Tabela 1).

Tabela 1 – Técnicas alternativas fornecidas software *TecAlt 1.0*

GRUPO	TIPO
Bacia de Detenção	Bacias de retenção
	Bacias de infiltração
	Bacias de retenção e infiltração
Obras Lineares	Trincheiras de infiltração
	Trincheiras de retenção
	Valas de retenção
	Valas de infiltração
	Pavimentos reservatórios
	Pavimentos reservatórios com infiltração
Estruturas Localizadas	Poços de infiltração
	Telhados armazenadores
	Reservatórios superficiais de retenção/infiltração
	Reservatórios superficiais de retenção
	Reservatórios enterrados de retenção
Técnicas Adaptadas à Parcela	Poços de infiltração
	Telhados armazenadores
	Trincheiras
	Valas e valetas de retenção/infiltração
	Reservatórios domiciliares, enterrados de retenção
	Reservatórios domiciliares, abertos de retenção

Fonte: Autoras, 2016.

Foram respeitadas as principais funções de cada técnica, sendo aquela utilizada devidamente adaptada para as condições de implantação, seja retenção, armazenamento, infiltração ou filtração.

4 Diagnóstico local

A cidade de Cajazeiras, Paraíba, está inserida na delimitação do território semiárido nacional, realizada pelo Ministério da Integração Nacional (SDR/MI, 2005). Cajazeiras é considerada, entre 15 municípios, a sede da Região Metropolitana de Cajazeiras, de acordo com a Lei 8, de junho de 2012 (Figura 6).

Figura 6 – Região Nordeste, Estado da Paraíba e Cidade de Cajazeiras em destaques



Fonte: Autoras.

A cidade está inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas-Açu, o qual possui evaporação média de 2.338 mm/ano e evapotranspiração de 1.786 mm/ano, identificadas pelo método Penman-Monteith; e de 1.620 mm/ano, pelo método de Hargreaves, específico para climas áridos e semiáridos (ANA, 2014). Essas altas taxas de evaporação e evapotranspiração, associadas à má distribuição das chuvas, enfatizam a ocorrência de crises hídricas nessa região.

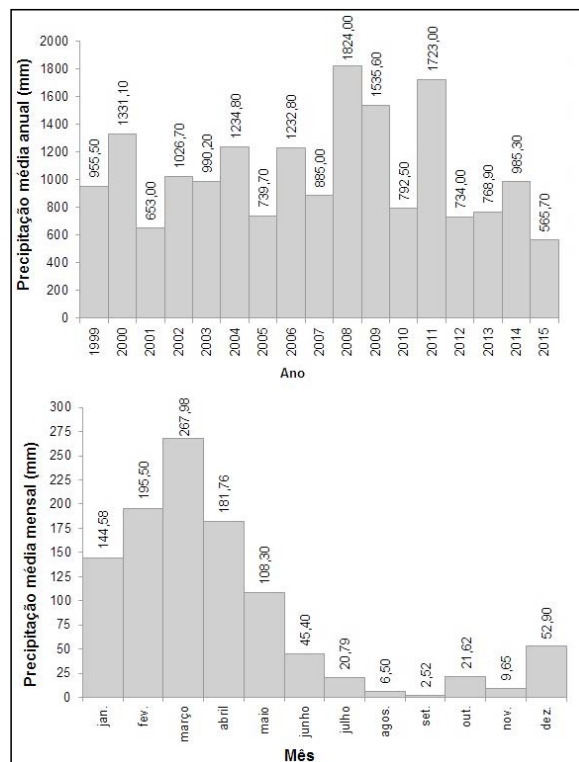
Cajazeiras possui um clima semiárido (quente e seco), apresentando precipitação média acumulada de 1.057,52 mm e distribuição média mensal, como mostra a Figura 7 (MME, 2005). Foram avaliados os dados de 1999 até 2015, obtidos pela Estação Cajazeiras (-6,8942 -38,5444), fornecidos pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba-AESA.

Analisando a Figura 7, nota-se uma elevada irregularidade pluviométrica na série histórica. Em 2011, é registrado o segundo maior valor da precipitação média anual no intervalo na série; porém, os anos seguintes apresentam, praticamente, menos da metade do valor do ano referido. O ano de 2015 marcou o menor índice pluviométrico em 16 anos. Essa diminuição dos eventos de precipitação na região configuraram o período de seca que se caracterizou na cidade.

Observa-se, na Figura 7, que o período chuvoso está concentrado entre os meses de janeiro e maio, sendo março o mês com maior precipitação média (267,98 mm), em contrapartida com setembro, cuja média de chuva é de 2,52 mm. Essa distribuição confirma a irregularidade das chuvas no decorrer do ano.

O uso da água subterrânea como método alternativo de obtenção de água é bastante usado na região, principalmente em áreas rurais. Atualmente, são cadastrados 367 pontos d'água, sendo 97% poços tubulares, 2,72% poços escavados e 0,27% de fonte natural. Desses pontos, 44% são de uso particular, atendendo apenas ao proprietário do estabelecimento; 29% de uso comunitário, atendendo a diversas famílias; e 27% com finalidade de abastecimento indefinida (MME, 2005).

Figura 7 – Precipitações média anual acumulada e média mensal de Cajazeiras (1999 – 2015), respectivamente



Fonte: Elaborado pelas autoras com dados da AESA, 2016.

Quanto à qualidade da água, o Ministério de Minas e Energia (MME, 2005) afirma que 217 dos pontos analisados possuem água caracterizada como salobra ou salina, enquanto apenas 85 pontos são classificados como pontos de água doce.

A profundidade dos poços da cidade de Cajazeiras varia entre 3,91m e 75m. O bairro Jardim Oásis, onde está localizado o IFPB Cajazeiras, possui poços com uma variação de profundidade de 45m a 60m. Essa informação é de extrema relevância, pois técnicas compensatórias baseadas no princípio de infiltração possuem restrições quanto à proximidade do lençol freático.

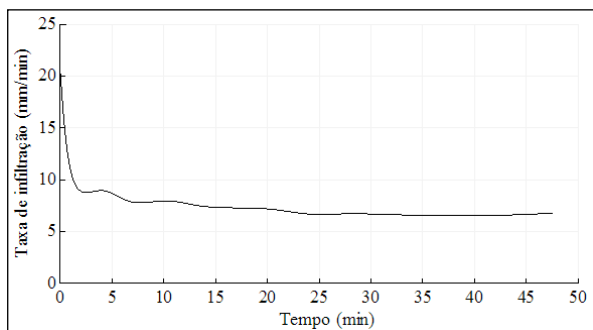
A distância que existe entre a base das técnicas compensatórias que utilizam a função de infiltração e o lençol freático deve ser considerada, no momento de planejamento do sistema, por duas principais razões: evitar uma potencial contaminação do lençol freático e não comprometer a capacidade hidráulica da técnica (DUCHENE, MCBEAN, THOMSON, 1994; BAPTISTA, NASCIMENTO, BARRAUD, 2005).

Quando o lençol freático é pouco profundo, o risco de contaminação é mais provável, caso não haja um pré-tratamento das águas escoadas ou a estrutura do

sistema não seja projetado para filtração das águas infiltradas. Dessa maneira, mesmo que haja um estudo efetivo sobre as condições ambientais existentes na área para implantação de uma técnica compensatória de infiltração, outras que não possuam a infiltração como prioridade podem ser adotadas ou associadas a algum reservatório para armazenamento das águas (CHAHAR; GRAILLOT; GAUR, 2012).

O IFPB Cajazeiras está localizado em uma área de topografia irregular, sendo um terreno em aclive, o que favorece o escoamento natural das águas pluviais em direção à via pública. As cotas do terreno variam de 55 a 105m (Figura 8).

Figura 8 – Planta de terraplanagem demarcando as cotas de níveis do terreno do IFPB Cajazeiras. Desenho sem escala



Fonte: Adaptado do Projeto Terraplanagem do IFPB, 1988c.

Observando a Figura 8, a menor cota de nível é de 55m e pode ser encontrada na fachada noroeste, ou seja, no acesso principal do IFPB (quadrados). A mesma cota é observada na porção sul do terreno (quadrados), a qual aumenta em direção ao leste do terreno até o valor de 105m (círculos).

Essa topografia pode não proporcionar o empocamento de águas pluviais em épocas chuvosas. Deve-se atentar, porém, ao volume transferido a jusante e para a velocidade do escoamento, supostamente elevada e acentuada pelas grandes áreas impermeáveis existentes na instituição.

Algumas áreas de jardins poderiam ser utilizadas para aumentar a retenção e amenizar a velocidade do escoamento pluvial. A configuração, em plano inclinado de alguns jardins, intensifica, entretanto, o escoamento e ainda proporciona o carreamento do solo local para áreas externas de convívio e circulação (Figura 9).

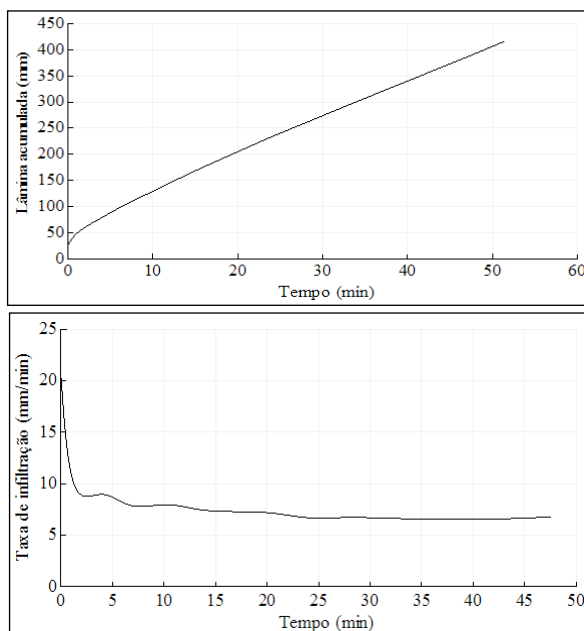
Figura 9 – Configuração em plano inclinado de um jardim do IFPB Cajazeiras



Fonte: Autoras.

Em relação ao estudo do solo local, foram realizados 6 ensaios de infiltração pelo método do infiltrômetro de anel simples, sendo 2 na área do estacionamento estudantil, 2 próximos ao refeitório da instituição e 2 próximos ao pátio central. Com os dados dos ensaios, foi determinada a taxa de infiltração média do solo do IFPB, sendo de 6,77 mm/min (Figura 10).

Figura 10 – Lâmina e taxa de infiltração do solo do IFPB Cajazeiras



Fonte: Autoras, 2016.

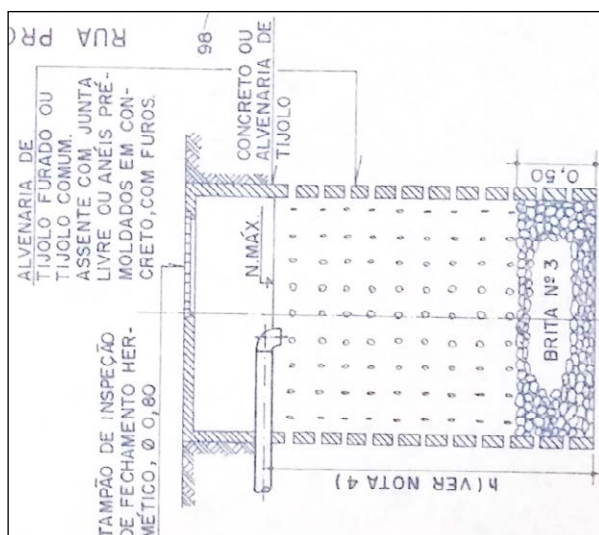
Observando a taxa de infiltração, nota-se uma baixa velocidade de infiltração, refletida pela compactação do solo e pelo seu tipo no local – siltoso, assim classificado a partir de análise granulométrica realizada (NBR 7181/2016).

No que tange à existência de infraestrutura para captação e armazenamento de águas pluviais, não há nenhum sistema instalado no IFPB Cajazeiras. Em relação a estruturas de infiltração, há sumidouros localizados em alguns pontos do Campus, para que parte das águas pluviais coletadas sejam redirecionadas ao solo (Figura 11).

As águas pluviais são coletadas por um sistema de microdrenagem composto por sarjetas, valetas, bocas de lobo e tubulações que direcionam os volumes para a via pública (Figura 12) ou, em algumas situações, quando coletados em telhados, são lançados sobre áreas externas de convívio e circulação (Figura 13).

Em eventos de precipitação, as áreas externas que recebem diretamente o lançamento dos volumes pluviais dos telhados também são receptoras do material argiloso carreado das áreas de jardins inclinados do entorno, gerando uma situação de risco ao pedestre, com risco de escorregões e quedas.

Figura 11– Planta baixa e corte, respectivamente, do sumidouro para infiltração das águas pluviais do IFPB



Fonte: Adaptado do Projeto de Águas Pluviais do IFPB, 1988a.

Figura 12 – Captação das águas pluviais por sistema de microdrenagem



Fonte: Autoras.

Figura 13 – Captação das águas pluviais em telhados com lançamentos dos volumes em áreas de circulação externa



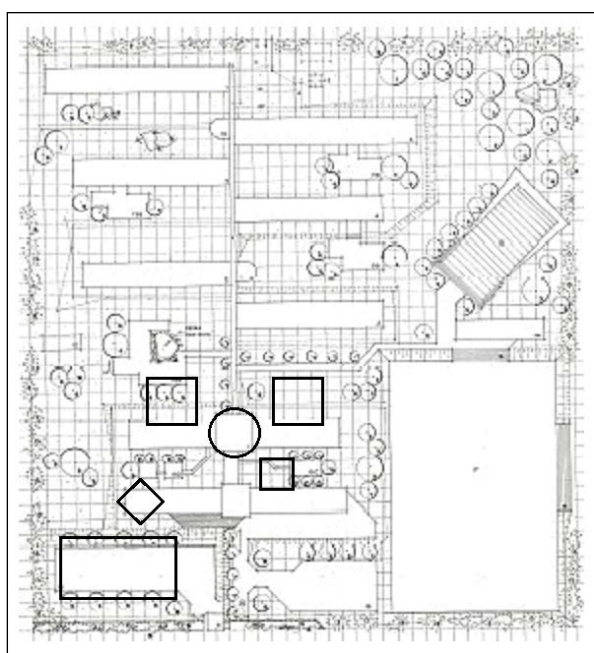
Fonte: Autoras.

5 Locais para implantação das técnicas compensatórias

5.1 Locais de acumulação de águas pluviais

Os locais de acumulação de águas pluviais no Campus Cajazeiras são apresentados na Figura 14 e descritos posteriormente.

Figura 14 – Localização das áreas de alagamentos após chuvas intensas



Fonte: Adaptado da Projeto de Paisagismo do IFPB, 1988b.

Pátio

O pátio (círculo), localizado entre as curvas de níveis de cotas 98 e 99m, é uma área central do Campus, sendo acesso principal para as salas de aula, biblioteca, auditório e banheiros.

Em 2015, ocorreram precipitações de elevada intensidade e baixa duração na região de Cajazeiras, sendo suficientes para causar alagamento nessa área, mesmo com a existência de sistema de microdrenagem.

O alagamento do pátio causou a paralisação das atividades do Campus, causando transtornos aos servidores, discentes e funcionários (Figura 15).

Figura 15 – Pátio do IFPB Campus Cajazeiras alagado após chuva intensa



Fonte: Autoras.

Refeitório

O refeitório (losango) está localizado entre as cotas de 97 e 98m, estando os acessos dos alunos, servidores e funcionários posicionados junto a grandes áreas de jardins, compostos por planos horizontais e inclinados e em cotas mais elevadas (Figura 16).

Os jardins poderiam ser locais de retenção das águas pluviais, porém os volumes advindos das áreas a montante somados às águas escoadas pelas cobertas e lançadas diretamente na circulação, provocam alagamentos locais, resultando em transtornos à comunidade interna (Figura 17).

Figura 16 – Áreas de jardins ao lado do acesso ao refeitório do IFPB (abertura à direita da imagem)



Fonte: Autoras.

Figura 17 – Lançamento de águas pluviais diretamente sobre superfície impermeável (acesso ao refeitório)



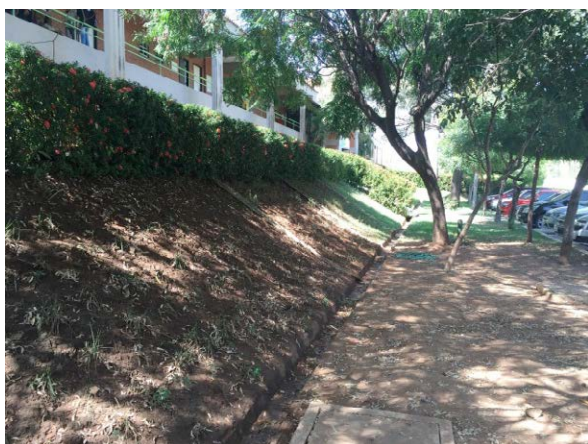
Fonte: Autoras.

Estacionamento estudantil

O estacionamento estudantil (retângulo) está locado na área de menores cotas de níveis, entre 95 e 96m. Assim, o estacionamento é considerado uma bacia que recebe grandes volumes escoados das demais áreas da Instituição. Além disso, as áreas adjacentes de jardins não favorecem a retenção do escoamento pela compactação do solo (Figura 18).

Esse fato é agravado pela sua superfície impermeável (revestimento de paralelepípedo) e plana, dificultando o escoamento para o sistema de microdrenagem existente. Em períodos de acúmulo de águas no local, há riscos de aquaplanagem dos veículos e, principalmente de dificuldades de acesso dos alunos com mobilidade reduzida (Figura 19).

Figura 18 – Diferença de nível entre a edificação e o estacionamento estudantil do Campus



Fonte: Autoras.

Figura 19 – Estacionamento estudantil do Campus.



Fonte: Autoras.

Áreas externas de convívio e circulação

Entre os blocos do Campus, existem áreas de convívio e circulação (quadrado), localizados em superfícies planas imediatamente à jusante de uma superfície inclinada, geralmente jardins. Apesar de serem áreas de jardins, a retenção do escoamento nessas áreas é baixa, devido à sua elevada inclinação. Dessa maneira, junto aos volumes de águas pluviais também são carregados sedimentos dos jardins para as áreas de convívio e circulação (Figura 20).

Figura 20 – Área de circulação após plano inclinado e detalhe para o carregamento de sedimentos, respectivamente



Fonte: Autoras.

5.2 Superfícies impermeáveis com geração de deflúvio superficial

Telhados e lajes planas

O IFPB Cajazeiras possui grandes áreas de telhados, os quais geram elevados volumes de escoamento superficial durante os eventos de precipitação. É importante salientar que a Instituição não possui sistema de coleta de águas pluviais para armazenamento e posterior reuso, transferindo, assim, os escoamentos para o sistema de microdrenagem e áreas diversas, como jardins e circulação externa (Figura 21).

Além dos telhados, o Instituto apresenta algumas lajes planas que também são áreas impermeáveis de produção de escoamento pluvial. Algumas dessas lajes possuem exutório para áreas de jardins, mas outras possuem saídas de água diretamente para áreas de circulação, como a laje do refeitório (vide Figura 17), ou para o sistema de águas pluviais, como a laje de ligação entre o bloco administrativo (primeiro bloco) e o pátio central (Figura 22).

Figura 21– Acúmulo de águas pluviais advindas de telhados adjacentes à circulação externa



Fonte: Autoras.

Figura 22 – Laje plana entre o bloco administrativo e o pátio central do Campus



Fonte: Autoras.

Mesmo que a laje tenha sido moldada com saída para o sistema de águas pluviais existente, percebe-se que, após cessada a precipitação, ainda acumula água, comprometendo, assim, sua estrutura, que fica vulnerável a possíveis infiltrações e mofos (Figura 23).

Figura 23 – Acúmulo de água pluvial sobre laje plana



Fonte: Autoras.

6 Escolha da técnica alternativa

6.1 Técnicas alternativas resultantes do TecAlt 1.0

Como dito anteriormente, o software *TecAlt 1.0* é utilizado como ferramenta de tomada de decisão quanto ao manejo das águas pluviais. Assim, o programa foi utilizado para determinar as técnicas alternativas a serem adotadas nos locais de acumulação de águas pluviais e nas superfícies impermeáveis com geração de deflúvio superficial.

Para todas as simulações, foram adotados como dados de entrada comuns: profundidade do lençol abaixo de 10m e solo do tipo siltoso (Quadro 02).

6.2 Justificativa da escolha das técnicas alternativas

O pátio do Campus Cajazeiras é uma área central, com grande circulação de pessoas e, principalmente, uma área de ligação entre os ambientes externos. Próximo a ele, há um espelho d'água desativado, o qual foi pensado como elemento armazenador das águas pluviais, funcionando como um reservatório. Assim, reconsiderando-se algum uso para esse espelho d'água, até então desativado, a partir do resultado fornecido pelo programa, foi possível sugerir-lo como reservatório. As águas do pátio serão direcionadas ao reservatório, através de uma tubulação conectada à trincheira de infiltração com sugestão de implantação no lugar da rampa de acesso existente atualmente. A

trincheira de infiltração funcionará como técnica de retenção temporária das águas pluviais, ao mesmo tempo em que realiza um pré-tratamento para posterior redirecionamento para o reservatório. Quanto à rampa de acesso, essa pode ser realocada para o corredor lateral, facilitando o acesso direto da área descoberta para a área coberta, por não ser necessário efetuar o giro de 90° para acessar o pátio.

O refeitório está inserido em um local com menos circulação de pessoas, porém, nos horários das refeições (almoço e jantar), há considerável acúmulo de pessoas, tanto no refeitório quanto nas áreas adjacentes. No local, não há disponibilidade de área para inserir uma técnica alternativa nem como uso compartilhado com algum jardim próximo, principalmente por estarem em níveis mais elevados do que o do refeitório. Dessa maneira, foi adotada a opção de telhados armazenadores, pois as águas podem ser recolhidas no próprio local de geração, telhados, e serem encaminhadas para o sistema de microdrenagem existente no Campus, por isso a opção de restrição de vazão na inserção dos dados de entrada.

O estacionamento estudantil é a maior área de acumulação local de águas pluviais, quando comparada às demais áreas dessa classificação. Por ser o ponto mais a jusante do Campus, o volume de água acumulado advém, principalmente, do escoamento gerado a montante. Assim, telhados armazenadores não são as técnicas mais indicadas para esse local. O estacionamento estudantil é uma área que possui compartilhamento com extensas áreas de jardins e disponibilidade espacial para implantação de técnicas alternativas, principais considerações para a escolha dos pavimentos reservatórios ou permeáveis como técnica compensatória. Esse tipo de técnica também é destinado para áreas de circulação e estacionamento de veículos leves, como nesse caso. Devido ao tipo de solo local, silteoso, e para aumentar a eficiência dessa técnica, sugere-se a combinação desses pavimentos com os sistemas de biorretenção, adaptando-se algumas áreas de jardins como sistemas de pré-tratamento e amortecimento do escoamento superficial.

As áreas externas de convívio e circulação são distribuídas no Campus e representam, quando somadas, a maior área de acumulação de águas pluviais. Devido às extensas áreas de jardins com declividade acentuada, as águas pluviais não são retidas e o escoamento superficial é desacelerado. Com a finalidade de amortecer esses volumes, é sugerida

a combinação das valas de retenção com os jardins existentes. As valetas existentes na porção inicial dos jardins podem funcionar como valas de retenção, pelo aumento da profundidade e largura, funcionando como técnica para o amortecimento inicial dos volumes gerados. Já os jardins, podem ser utilizados como bacias de retenção aberta, processo obtido com a modificação da inclinação existente por jardins em degraus e com o aumento do elemento que delimita o jardim (parede), diminuindo as vazões de escoamento e o transporte de sedimentos; também se podem armazenar, temporariamente, os volumes extravasados nas valas de infiltração para posterior infiltração ou evaporação.

Os telhados representam áreas impermeáveis relevantes na geração de escoamento superficial. Grande parte dos telhados da Instituição são integrados a jardins abaixo dos beirais, para onde as águas superficiais infiltram. Essa integração com os jardins foi considerada na simulação desse caso, gerando como resultado a técnica de bacias de retenção, onde os próprios jardins funcionam como esse elemento de retenção das águas pluviais. Além dos jardins, outros telhados possuem integração com outros elementos, como o espelho d'água. Nesse caso, a técnica alternativa sugerida é o telhado armazenador, em que um sistema de captação das águas pluviais é integrado a esse espelho d'água, o qual funciona como reservatório.

A laje analisada não disponibiliza espaço para implantação de outra técnica que não seja o telhado armazenador. Nesse caso, utiliza-se um telhado verde, adotando vegetação nativa da região, como coroa-de-frade (*Melocactus bahiensis*). Atualmente, essa laje possui integração com o espelho d'água existente, por intermédio de uma tubulação subterrânea. A fim de manter essa relação, essa informação foi inserida como dado de entrada para uma simulação, resultando, como técnica alternativa, o reservatório.

Em resumo, a justificativa para a escolha das técnicas alternativas bem como a função e estrutura básica da técnica são apresentadas no Quadro 03.

Em relação aos benefícios pós-implantação, espera-se que as técnicas sugeridas proporcionem as seguintes melhorias:

- Minimização dos impactos das águas pluviais, como alagamentos;
- Redução do carreamento de sedimentos em épocas de chuva;
- Reutilização e adaptação de infraestruturas existentes para novos usos, a exemplo de reservatório;
- Integração de técnicas e infraestruturas.

Quadro 2 – Técnicas alternativas resultantes do software *TecAlt 1.0*

LOCAL	DADOS DE ENTRADA	TÉCNICAS ALTERNATIVAS	
		GRUPO	TIPO
Pátio	Disponibilidade de uso compartilhado Área com percentual significativo de utilização Exutório possível, com restrição de vazão	Técnica adaptada à parcela	Reservatórios domiciliares enterrados Reservatórios domiciliares abertos
Refeitório	Sem disponibilidade de área para a implantação da técnica alternativa Exutório possível, com restrição de vazão	Técnica adaptada à parcela	Telhados de armazenamento Reservatórios domiciliares enterrados
Estacionamento estudantil	Disponibilidade com uso compartilhado Área com percentual significativo de utilização Exutório possível, com restrição de vazão	Bacia de detenção	Retenção, aberta, seca e integrada Retenção, fechada e integrada
		Obras lineares	Valas de detenção Pavimentos reservatórios
		Estruturas localizadas	Telhados de armazenamento
Áreas externas de convívio e circulação	Disponibilidade de uso compartilhado Área com percentual significativo de utilização Exutório possível, sem restrição de vazão	Bacia de detenção	Retenção, aberta, seca e integrada Retenção, aberta, úmida e integrada Retenção, fechada e integrada
		Obras lineares	Valas de detenção Pavimentos reservatórios
		Estruturas localizadas	Telhados de armazenamento
Telhados	Disponibilidade de uso compartilhado Área com percentual significativo de utilização Exutório possível, com restrição de vazão	Bacia de detenção	Retenção, aberta, seca e integrada Retenção, aberta, úmida e integrada Retenção, aberta, com água e integrada
		Obras lineares	Valas de detenção Pavimentos reservatórios
		Estruturas localizadas	Telhados de armazenamento
Laje	Sem disponibilidade de área para a implantação da técnica alternativa Exutório possível, com restrição de vazão	Técnica adaptada à parcela	Telhados de armazenamento Reservatórios domiciliares enterrados

Fonte: Autoras, 2016.

Quadro 3 – Justificativa da escolha das técnicas alternativas

LOCAL	TÉCNICA ALTERNATIVA	MOTIVO	FUNÇÃO	COMPOSIÇÃO ESTRUTURAL
Pátio	Reservatório	Adaptação de um espelho d'água existente	Armazenamento	Estrutura já existente, com a adoção de uma superfície de fechamento móvel
	Trincheira de infiltração	Captção das águas do pátio e redirecionamento para o reservatório	Retenção Infiltração	Pequena área escavada e impermeável, preenchida com material granular e manta geotêxtil
Refeitório	Telhados armazenadores	Sistema de captação redirecionando para microdrenagem	Retenção	Sistema de calhas e tubulações de PVC
Estacionamento estudantil	Pavimentos reservatórios	Disponibilidade de espaço em estacionamento	Infiltração	Área escava e permeável, preenchida com material granular e geotêxtil
	Sistemas de biorretenção	Adaptação de áreas de jardins	Retenção Infiltração Filtração	Área escavada e permeável, material granular, geotêxtil, substrato e vegetação
Áreas externas de convívio e circulação	Valas de detenção	Adaptação de valas existentes	Detenção	Aumento da área (?) existente, preenchida com material granular
	Bacias de retenção aberta	Adaptação de áreas de jardins	Retenção Infiltração	Adaptação das áreas de jardins e aumento da parede de limitação do jardim
Telhado	Telhado armazenador	Captção das águas do telhado e redirecionamento para o reservatório	Retenção	Sistema de calhas e tubulações de PVC
	Reservatório	Adaptação de um espelho d'água existente	Armazenamento	Estrutura já existente, com a adoção de uma superfície de fechamento móvel
Laje	Telhado armazenador (telhado verde)	Captção das águas do telhado e redirecionamento para o reservatório	Retenção Infiltração	Camada impermeabilizante, camada protetora, camada drenante, geotêxtil, substrato e vegetação
	Reservatório	Adaptação de um espelho d'água existente	Armazenamento	Estrutura já existente, com a adoção de uma superfície de fechamento móvel

Fonte: Autoras, 2016.

7 Conclusão

Este trabalho apresentou um estudo sobre o manejo de águas pluviais em uma região semiárida, indicando a técnica alternativa de drenagem urbana que melhor se adapta a cada situação local.

É importante o estudo dos condicionantes ambientais bem como o levantamento das condicionantes antrópicas. Dados in loco confirmam hipóteses locais, antes só conhecidas por acesso aos dados, como precipitação e projetos arquitetônicos.

A utilização do software *TecAlt 1.0* auxiliou na seleção da técnica alternativa, por considerar aspectos locais e a relação destes entre si, por exemplo, a opção ou não de áreas compartilhadas.

A pesquisa apresentou um caráter investigativo e proporcionou bons resultados, passíveis de implantação, sendo indicado o uso dessa metodologia para possíveis trabalhos futuros.

Espera-se que este trabalho possa continuar, enfocando, especificamente, o dimensionamento e projeto de uma das técnicas para possível implantação e monitoramento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba pela concessão da bolsa de iniciação científica.

REFERÊNCIAS

AESA. Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba. **Dados da Estação de Cajazeiras**. Disponível em: < <http://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/sort.do?layoutCollection=0&layoutCollectionProperty=&layoutCollectionState=275&pagerPage=0>>. Acesso em: 05 jun. 2016.

ALBUQUERQUE, J. P. T.; RÊGO, J. C. O semiárido brasileiro: aspectos gerais. In: GALVÃO, C. O. *et al.* **Recursos hídricos para a convivência com o semiárido**: abordagens por pesquisadores no Brasil, Portugal, Cabo Verde, Estados Unidos e Argentina. Porto Alegre: ABRH; Recife: Ed. Universitária da UFPE. 598 p. 2013.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Ações – P1MC**. Disponível em: < <http://www.asabrazil.org.br/acoes/p1mc> >. Acesso em: 13 nov. 2016.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Monitor de Secas**. Disponível em: < <http://monitordesecas.ana.gov.br>>. Acesso em: 16 jan. 2017.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Piranhas-Açu**. Brasília, 2014.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7181: Solo – Análise Granulométrica – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2016.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N. O.; BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2005.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos. 302p. 2005.

CHAHAR, B. R.; GRAILLOT, D.; GAUR, S. Storm-water management through infiltration trenches. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.138, n. 3, p. 274-281, 2012.

CIRILO, J. A. *et al.* Soluções para o suprimento de água de comunidades rurais difusas no semi-árido brasileiro: avaliação de barragens subterrâneas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 4, p. 5-24, 2003.

COSTA, W. D. **Barragem Subterrânea x Barragem de Assoreamento**: Aspectos construtivos e finalidades. Águas Subterrâneas, 2015.

DNOCS. Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. Séries históricas volumétricas. Disponível em: <http://www.dnocs.gov.br>>. Acesso em: 05 jun. 2016.. 2015.

DUCHENE, M.; McBEAN, E. A.; THOMSON, N. R. Modeling of infiltration from trenches for storm water control. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 120, n. 3, p. 276-293, 1994.

GALVÃO, C. O. *et al.* **Recursos hídricos para a convivência com o semiárido**: abordagens por pesquisadores no Brasil, Portugal, Cabo Verde, Estados Unidos e Argentina. Porto Alegre: ABRH; Recife: Ed. Universitária da UFPE. 598 p. 2013.

GALVÃO, C. O. *et al.* Sustentabilidade da Oferta de Água para Abastecimento Urbano no Semi-Árido Brasileiro: O caso de Campina Grande. In: Seminário: Planejamento, Projeto e Operação de Redes de Abastecimento de Água – O Estado da Arte e Questões Avançadas. João Pessoa, 2002.

GNADLLINGER, J. Água de chuva no manejo integrado dos recursos hídricos em localidades semiáridas: Aspectos históricos, biofísicos, técnicos, econômicos e sociopolíticos. In: SANTOS, D. B. *et al.* **Captação, Manejo e Uso de Água de Chuva**. INSA: Campina Grande, PB. 2015.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sinopse do Censo Demográfico**. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 05 jun. 2016. 2010.

IFPB – INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA. **Projeto de Águas Pluviais do Campus Cajazeiras**. 1988a.

_____. **Projeto de Paisagismo do Campus Cajazeiras**. 1988b.

_____. **Projeto de Terraplanagem do Campus Cajazeiras**. 1988c. 2010.

LEI COMPLEMENTAR nº 107, de 8 de junho de 2012. **Diário Oficial da Paraíba**. 8 jun. 2012.

MME. Ministério de Minas e Energia. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea**. Diagnóstico do município de Cajazeiras, estado da Paraíba. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

NASCIMENTO, N. O.; BAPTISTA, M. B. Técnicas Compensatórias em Águas Pluviais. In: RIGHETTO, A. M. (coord.). **Manejo de Águas Pluviais Urbanas**. Rio de Janeiro: ABES. 396p. 2009.

PAULO, A. A. *et al.* **Análise espacial, temporal e tendências das secas em Portugal usando o índice SPI aplicado a dados observados, PT02 e séries longas**. Predictabilidade Sazonal de Secas, p. 19. 2015.

RIGHETTO, A. M.; MOREIRA, L. F. F.; SALES, T. E. A. Manejo de Águas Pluviais Urbanas. In: RIGHETTO, A. M. (coord.). **Manejo de Águas Pluviais Urbanas**. Rio de Janeiro: ABES. 396p. 2009.

ROY-POIRIER, A.; CHAMPAGNE, P.; FILION, Y. Review of bioretention system research and design: past, present and future. **Journal of Environmental Engineering**, v. 136, n. 9, p. 878-889, 2010.

SDR/MI. Secretaria de Políticas de Desenvolvimento Regional do Ministério da Integração Nacional. **Nova delimitação do semiárido brasileiro**. Brasília, 2005.

SILVA, R. M. A. **Entre o Combate à Seca e a Convivência com o Semi-Árido**: transições paradigmáticas e sustentabilidade do desenvolvimento. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) — Universidade de Brasília — UNB, Brasília, 2006.