

Indicadores da qualidade e estimativa de captação de água pluvial em rodovias asfaltadas do Semiárido Baiano

Muriel Cajuhy Souza¹, Delfran Batista dos Santos², Marcio Lima Rios²,
Manuel Dias da Silva Neto³, Delka de Oliveira Azevedo² & Rafael Oliveira Batista⁴

Protocol 12.2012 - Received: September 18, 2012 - Accepted: October 30, 2012

Resumo: Os baixos índices pluviométricos e a irregularidade anual na distribuição das precipitações pluviométricas no semiárido brasileiro estão entre os fatores que provocam a instabilidade da produção agropecuária. Nesse sentido, o presente trabalho objetivou obter indicadores de qualidade da água pluvial captada em malha asfáltica, bem como estimar o potencial de captação por escoamento superficial em rodovias asfaltadas do Semiárido Baiano. Para avaliação físico-química e microbiológica da água pluvial foram coletadas amostras em cisternas abastecidas por água de escoamento superficial advindo da estrada pavimentada com asfalto no interior do *Campus* do Instituto Federal Baiano em Senhor do Bonfim. O potencial de captação de água foi estimado a partir da relação entre a área total de captação e a precipitação média anual para a região semiárida do Estado da Bahia. O estudo demonstrou que a água pluvial captada pela malha asfáltica foi classificada como de severo grau de restrição de uso na irrigação, quanto a infiltração de água no solo. No entanto, em relação a obstrução de emissores em sistemas de irrigação localizada, essa água representa baixo risco, exceto para o íon Fe que apresentou grau de restrição moderado; e que as rodovias do Semiárido Baiano possuem elevado potencial de captação de água pluvial para fins não potáveis.

Palavras-chave: cisternas, escoamento superficial, irrigação, qualidade de água

Quality indicators and potential of rainwater harvesting on paved roads in semiarid Bahia

Abstract: The low rainfall and the irregularity in the distribution of annual rainfall in the Brazilian semiarid region are among the factors that cause the instability of agricultural production. Thus, the present study aimed to obtain quality indicators of rainwater harvested on asphalt, as well as to estimate the potential catchment runoff on paved roads semiarid region in the State of Bahia. For physico-chemical and microbiological analysis, samples were collected in tanks filled with rain water runoff arising from the roads paved with asphalt inside the Federal Institute Senhor do Bonfim Campus in Bahia. The potential water catchment was estimated from the ratio of the total catchment area and mean annual precipitation for the semiarid region of Bahia State. The study showed that rainwater captured on asphalt roads was classified as of severe degree of restriction for use in irrigation, with respect to infiltration in the soil. However regarding the clogging of emitters in irrigation systems, the water is of low risk except for the Fe ion showing moderate degree of restriction of obstruction and the highways in semiarid Bahia have high potential for harvesting rainwater for non-potable purposes.

Key words: tanks, runoff, irrigation, water quality

¹ Universidade Federal do Vale do São Francisco, Recife, PE. E-mail: murielcajuhy@yahoo.com.br

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, Senhor do Bonfim, BA. E-mail: delfran.batista@gmail.com, marciogeog@gmail.com, delkaoliveira@yahoo.com.br

³ Faculdade Presbiteriana Augusto Galvão, Campo Formoso, BA. E-mail: manuedias9@hotmail.com

⁴ Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, RN. E-mail: rafaelbatista@ufersa.edu.br

Introdução

O semiárido brasileiro estará sempre sujeito a secas periódicas, visto que uma das características naturais desse tipo de clima é a ocorrência de precipitações pluviais irregulares e mal-distribuídas geograficamente (Silva et al., 2012). Por essa razão, a prática de agricultura de sequeiro e a criação de animais tornam-se atividades de risco para a população residente no meio rural já que a irregularidade pluviométrica denota uma condição de escassez de água na maior parte do ano, causando sérios prejuízos econômicos aos pequenos produtores.

Para o sertanejo conviver melhor nessas condições é imprescindível a adoção de tecnologias de captação da água pluvial para usá-las tanto nos veranicos, que ocorrem no período chuvoso, como após esse período (Moura et al., 2007). Referidas peculiaridades pluviais impactam nas condições de vida da população, causando insegurança alimentar e produtiva.

O armazenamento de água pluvial já é prática comum em muitas nações há milhares de anos, especialmente nas zonas áridas ou remotas, nas quais o fornecimento de água encanada ou através de redes não é economicamente rentável nem tecnicamente viável (Simmons et al., 2001; Ngigi, 2003; Prado et al., 2007). Assim, nos dias atuais a captação e o armazenamento de água pluvial emergem como alternativa importante para o enfrentamento dos problemas causados pela escassez hídrica no Semiárido. Nesta perspectiva, o uso das “cisternas de produção” se destaca como uma das tecnologias que podem atenuar as ameaças citadas e dispor água para irrigação de pequenas áreas (Santos et al., 2012).

A tecnologia “cisterna de produção” vem sendo fomentada pelo Governo Federal por meio de programas governamentais, a exemplo do P1+2 (Programa Uma Terra e Duas Águas) em que, normalmente, as cisternas são construídas com capacidade para 52 m³, associada a uma área de captação pavimentada (calçada) medindo 210 m² (Gnadlinger, 2011).

Mesmo com as vantagens advindas do uso da tecnologia de armazenamento de água pluvial em cisternas, estudos têm revelado a importância do monitoramento de características físico-químicas e microbiológicas referentes à qualidade da água armazenada (Palhares & Guidone, 2012). Apesar do Brasil ter iniciado a regulamentação da qualidade da água na década de 1970 (Freitas & Freitas, 2005) a legislação brasileira ainda não

trata especificamente de águas pluviais (Leuck, 2008).

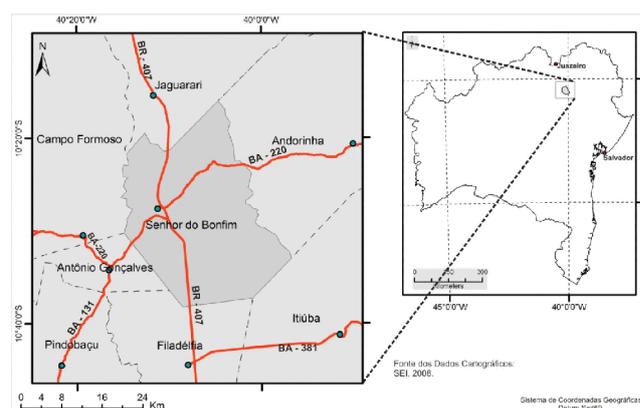
Neste contexto, é importante conhecer as variáveis climáticas, físicas, químicas e microbiológicas referentes ao processo de captação e armazenamento da água pluvial, para que deixe de ser um potencial e passe a ser realidade em sistemas que atendam às demandas como sistemas de irrigação para a pequena produção.

Diante do exposto, faz-se oportuno realizar estudos inerentes ao potencial de captação de água pluvial pelas rodovias brasileiras, em especial as localizadas no Semiárido; com isso, o presente trabalho objetivou obter indicadores de qualidade da água pluvial captada em malha asfáltica e estimar o potencial de captação por escoamento superficial em rodovias asfaltadas do Semiárido Baiano.

Material e Métodos

Localização da área de estudo

O local utilizado para investigação da qualidade da água pluvial proveniente do escoamento superficial de superfícies pavimentadas com asfalto foi o município de Senhor do Bonfim, Bahia, Brasil, (Figura 1), situado no norte do Estado, a 376 km de Salvador. Entretanto, a área de abrangência do estudo para estimativa do potencial de captação de água pluvial em rodovias pavimentadas com asfalto estendeu-se ao Semiárido Baiano.



Fonte: SEI (2008)

Figura 1. Mapa das rodovias federais e estaduais, em torno do município de Senhor do Bonfim, Bahia

Amostragem e avaliação da qualidade

As amostras de água foram coletadas em três cisternas abastecidas por água de escoamento superficial advindo da estrada pavimentada com asfalto no interior do *Campus* do Instituto Federal Baiano (IF Baiano), nas coordenadas 10°27'00" Sul e 40°09'00" Oeste e altitude 530 m, localizado no município de Senhor do Bonfim (Figura 2)



Figura 2. Estrada pavimentada com asfalto no interior do *Campus* do IF Baiano (A); detalhes do sistema de filtragem antes da água chegar às cisternas (B) e detalhe da cisterna abastecida com escoamento superficial da água do asfalto

sendo avaliadas 18 características físico-químicas e microbiológicas da água.

As características físico-químicas e microbiológicas da água armazenada nas cisternas foram determinadas em conformidade com as recomendações da APHA (2005). Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva, obtendo-se os valores de média, desvio padrão e coeficiente de variação.

As amostras foram analisadas no Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta (LASAP) do Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas da UFERSA, sendo medidos os valores do potencial hidrogeniônico (pH) com peagâmetro de bancada; as concentrações de ferro total (Fe) e manganês total (Mn) por espectrofotometria de absorção atômica; as concentrações de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) pelo método titulométrico. As concentrações dos sólidos suspensos (SS) e dos sólidos totais (ST) foram determinadas pelo método gravimétrico, enquanto as concentrações dos sólidos dissolvidos (SD) foram obtidas pela diferença de ST e SS.

Os níveis populacionais de coliformes totais (CT) foram determinados no Laboratório de Inspeção de Produtos de Origem Animal do Departamento de Ciências Animais da UFERSA, empregando-se o método de tubos múltiplos.

Estimativa do potencial de captação

Para analisar a viabilidade de captação de água pluvial, dados pluviométricos de séries históricas foram observados e analisados em bases georreferenciadas, assim como o coeficiente de escoamento superficial da área de captação (Santos et al., 2012).

Para determinação do potencial do volume captado de água pluvial em malha asfáltica utilizou-se a Eq. (1), que leva em consideração o coeficiente de escoamento, a média pluviométrica anual da região e a área de captação.

$$\text{Varm} = \frac{\text{Ac} \times \text{P} \times \text{C}}{1000} \quad (1)$$

em que:

Varm - volume máximo de água pluvial possível de ser armazenado, em m^3

Ac - área de captação, em m^2

P - precipitação média anual, em mm

C - coeficiente de escoamento superficial, adimensional.

Estimativa da área irrigada

Para determinar a área máxima possível de ser irrigada, utilizou-se a Eq. (2), que leva em consideração o volume máximo de água armazenada, a eficiência da irrigação e a evapotranspiração da cultura.

$$\text{Amáx} = \frac{\text{Varm} \times \text{Ea}}{\text{ETc} \times 10} \quad (2)$$

em que:

Amáx - corresponde à área máxima possível de ser cultivada com uma cultura sob condição irrigada com água pluvial captada, em ha

Varm - volume máximo de água pluvial possível de ser armazenado, em m^3

Ea - eficiência de aplicação de água do sistema de irrigação a ser utilizado, em decimal

ETc - evapotranspiração da cultura por ciclo (para culturas de ciclo curto) ou por ano (para culturas de ciclo longo), em mm.

Resultados e Discussão

Qualidade da água pluvial captada

Ao observar os dados expressos na Tabela 1 constata-se que os valores de pH variaram entre 6,41 a 6,94, indicando que a água pluvial captada pelo asfalto e armazenada nas cisternas, tem pH próximo da neutralidade. Este resultado está corroborando com os encontrados por Pimenta et al. (2009) que avaliaram a qualidade da água em áreas de aproveitamento hidroelétrico da bacia do Rio São Tomás, no município de Rio Verde, Goiás. Segundo Ayers & Westcot (1999), os valores

Tabela 1. Características físico-químicas e microbiológicas das amostras de água pluvial armazenadas em cisternas de captação de malha asfáltica

Parâmetros	Unidade	Amostras			Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão	CV
		1	2	3					
pH	-	6,93	6,94	6,41	6,41	6,94	6,76	0,25	3,7
CE	dS m ⁻¹	0,13	0,16	0,22	0,13	0,22	0,17	0,04	22,0
RAS	(mmol _c L ⁻¹) ^{0,5}	0,07	0,13	0,13	0,13	0,07	0,11	0,03	31,0
K	mmol _c L ⁻¹	0,23	0,19	0,17	0,17	0,23	0,20	0,02	12,7
Na	mmol _c L ⁻¹	0,06	0,12	0,16	0,06	0,16	0,11	0,04	36,3
Ca	mmol _c L ⁻¹	1,00	1,15	1,63	1,00	1,63	1,26	0,27	21,3
Mg	mmol _c L ⁻¹	0,34	0,42	1,18	0,34	1,18	0,65	0,38	58,5
Cl	mmol _c L ⁻¹	0,40	0,60	0,40	0,40	0,60	0,47	0,09	20,2
HCO ₃	mmol _c L ⁻¹	1,70	1,60	1,80	1,60	1,80	1,70	0,08	4,8
Dureza	mg L ⁻¹	67,00	78,50	140,50	67,00	140,50	95,33	32,28	33,9
ΣCations	mmol _c L ⁻¹	1,60	1,90	3,10	1,60	3,10	2,20	0,65	29,5
ΣÂnions	mmol _c L ⁻¹	2,10	2,20	2,20	2,10	2,20	2,17	0,05	2,2
Turbidez	(UNT)	2,30	7,20	1,70	1,70	7,20	3,73	2,46	66,0
Cu	mg L ⁻¹	0,035	0,025	0,029	0,025	0,035	0,03	0,00	13,9
Mn	mg L ⁻¹	0,056	0,027	0,011	0,011	0,056	0,03	0,02	59,4
Fe	mg L ⁻¹	0,150	0,173	0,259	0,150	0,259	0,19	0,05	24,2
Zn	mg L ⁻¹	0,015	0,005	0,031	0,005	0,031	0,02	0,01	62,7
Coliformes Totais	NMP 100mL ⁻¹	460	0	23	0	460	161,00	211,63	131,4

do pH observados durante o monitoramento se encontram dentro da faixa de normalidade para fins de irrigação (6,5 a 8,5), ressaltando-se que a água pode ser utilizada sem restrição para a irrigação, no que se refere aos riscos de desequilíbrio nutricional às culturas.

Em relação ao risco de entupimento de gotejadores (Tabela 1), os valores de pH se encontravam abaixo de 7,0, considerado de baixo risco de entupimento (Nakayama et al., 2006) e de acordo com a Resolução CONAMA n° 430; em relação ao padrão de qualidade de água doce, os valores estão dentro dos limites, que são de 6,0 a 9,0 (Brasil, 2011).

Quanto aos valores de condutividade elétrica da água (CE), verifica-se que em todas as amostras analisadas os valores oscilaram entre 0,13 dS m⁻¹ e 0,22 dS m⁻¹, com média de 0,17 dS m⁻¹ (Tabela 1). Esses resultados foram superiores aos encontrados por Reis et al. (2011) avaliando qualidade de água para irrigação, no Estado do Paraná. De acordo com Almeida (2010), água para irrigação com condutividade elétrica abaixo de 0,2 dS m⁻¹ pode provocar dispersão dos colóides da superfície do solo e, conseqüentemente, diminuir a taxa de infiltração de água do solo.

Pode-se inferir que a água captada pelo asfalto (Tabela 1) apresentou RAS igual a 0,11 (mmol L⁻¹)^{0,5} e CE de 0,17 dS m⁻¹ não oferecendo risco de salinização do solo; esses resultados são inferiores aos encontrados por Reis et al. (2011) que, avaliando a qualidade da água para irrigação em Salto do Lontra, no Estado do Paraná, encontraram valores de 0,02 (mmol L⁻¹)^{0,5} e 0,03 dS m⁻¹, respectivamente, para os atributos RAS e CE. Entretanto, do ponto de vista de dispersão de argilas, ou seja, com base em problemas de

infiltração de água no solo, essa água é classificada como de severo grau de restrição de uso (Ayers & Westcot, 1999). Portanto, a utilização dessa água para fins agrícolas faz-se necessário a adoção de medidas de manejo tais como adição de matéria orgânica, gradagem etc., caso contrário, a redução da taxa de infiltração de água no solo pode ser intensificada.

A concentração média de potássio (K⁺) de 0,20 mmol_c L⁻¹ (Tabela 1) foi maior que 0,13 mmol_c L⁻¹ obtida por Barroso et al. (2011) estudando a qualidade de água superficial de irrigação para o Estado do Ceará. O aporte de nutrientes à base de potássio via água de irrigação tem proporcionado aumento de produtividade das culturas (Sobral & Nogueira, 2008).

Com relação ao sódio (Na⁺) as concentrações oscilaram de 0,06 a 0,16 mmol_c L⁻¹, sendo o valor médio de 0,11 mmol_c L⁻¹ (Tabela 1). Tal resultado foi superior ao valor médio de 0,06 mmol_c L⁻¹ obtido por Reis et al. (2011). Segundo classificação de Ayers & Westcot (1999), essa água não causa problemas de toxicidade às culturas irrigadas, visto que a concentração não ultrapassa 3,0 mmol_c L⁻¹ de sódio.

As concentrações de cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) apresentaram valores médios de 1,26 e 0,65 mmol_c L⁻¹, respectivamente (Tabela 1). Tais concentrações se encontram dentro dos valores normais permitidos para qualidade de água de irrigação (Holanda et al., 2010). De acordo com Capra & Scicolone (1998), o risco de obstrução de gotejadores referente ao Ca²⁺ e Mg²⁺ presentes na água captada do asfalto é considerado baixo.

A concentração média de cloreto (Cl⁻) foi de 0,474 mmol_c L⁻¹ (Tabela 1); essa concentração é

menor que $3,0 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, não representando risco de toxicidade aos cultivos agrícolas, conforme sugerido por Ayers & Westcot (1999). Esta é uma característica positiva dessa água, visto que os teores elevados de cloreto podem inferir na toxicidade dos cultivos agrícolas (Dias & Blanco, 2010).

Os valores de carbonato (CO_3^{2-}) foram nulos enquanto as concentrações de bicarbonato (HCO_3^-) tiveram valor médio de $1,7 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ (Tabela 1). O valor médio de HCO_3^- foi maior que o limite de $1,5 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ representando risco para cultivos agrícolas fertigados via aspersão, conforme relatado por Ayers & Westcot (1999). Águas contendo elevadas concentrações de bicarbonatos e aplicadas via aspersão podem causar problemas de incrustação em forma de depósitos brancos sobre as folhas, frutos e flores, depreciando os produtos agrícolas (Ayers & Westcot, 1999).

Quanto ao atributo dureza (Tabela 1), o maior valor encontrado foi de $140,5 \text{ mg L}^{-1}$. De acordo com Nakayama et al. (2006) o risco de obstrução de gotejadores utilizando esta água pode ser considerado baixo.

Ainda analisando a Tabela 1 observa-se que o maior índice de turbidez encontrado foi de 7,2 unidades nefelométrica de turbidez (UNT). Este resultado está abaixo dos valores máximos de 10,14 UNT encontrados por Ribeiro et al. (2004) ao avaliarem o efeito da qualidade da água no entupimento de emissores e no desempenho de filtros utilizados na irrigação por gotejamento.

O valor médio do cobre (Cu) foi de $0,03 \text{ mg L}^{-1}$ (Tabela 1), abaixo, portanto, do limite da concentração que, em plantas cultivadas em soluções nutritivas pode causar toxidez (Ayers & Westcot, 1999).

A concentração de manganês total (Mn) oscilou entre $0,011$ e $0,056 \text{ mg L}^{-1}$ (Tabela 1), tendo valor médio de $0,03 \text{ mg L}^{-1}$. Em todas as amostras os valores de Mn ficaram abaixo do limite $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ estabelecido por Nakayama et al. (2006) que classificam baixo o risco de entupimento de gotejadores. É importante conhecer, de fato, a importância do Mn, sua composição na água em que se trabalha e, principalmente, o tipo de solo que está sendo irrigado (Nogueira & Cardoso, 2003).

Com relação à concentração de ferro total (Fe) os valores oscilaram entre $0,15$ e $0,26 \text{ mg L}^{-1}$ (Tabela 1), sendo o valor médio de $0,19 \text{ mg L}^{-1}$. Segundo Nakayama et al. (2006), quando o teor de Fe se encontra entre $0,1$ e $1,5 \text{ mg L}^{-1}$, essa água representa problema de obstrução em sistemas de irrigação localizada com grau de restrição moderado.

Martins et al. (2010) reportam que o excesso de ferro na água pode acarretar desenvolvimento de bactérias ferruginosas e reduzir significativamente a uniformidade de distribuição dos sistemas de irrigação localizada.

Os valores de zinco (Zn) oscilaram entre $0,005$ e $0,031 \text{ mg L}^{-1}$; seu valor médio foi de $0,02 \text{ mg L}^{-1}$ (Tabela 1). É importante ressaltar que o Zn é adsorvido em locais de troca de cátion de argilas podendo ser encontrado também nas estruturas de argila, através da substituição isomórfica em locais octaédricos (Obrador et al., 2003).

Os níveis populacionais de coliformes totais (CT) atingiram valores máximos de 460 NMP 100mL^{-1} (Tabela 1). Essas níveis de CT foram bem inferiores aos estabelecidos por Nakayama et al. (2006), classificando-se como baixo o risco biológico de obstrução de gotejadores pela água captada do asfalto. Estudos têm revelado que a água armazenada em cisternas em vários municípios brasileiros deve ser avaliada principalmente quanto à qualidade microbiológica, visto que o risco de conter patógenos é muito elevado (Amaral et al., 2003). Por outro lado, pesquisas têm demonstrado que o desvio do primeiro milímetro da água pluvial reduz significativamente a carga microbiana (Carvalho et al., 2012) podendo-se utilizar, então, esta técnica de manejo para reduzir a carga microbiana nos reservatórios utilizando-se água advinda do asfalto.

A água captada pela malha asfáltica é considerada não potável por agregar, à sua composição, restos vegetais, sedimentos e a possibilidade da presença de resíduos sólidos diversos, dentre outros resíduos; assim, ela deve ser destinada a atividades outras, como a manutenção de canteiros produtivos, irrigação de jardins, produção de forrageiras e limpeza de setores produtivos (como a pocilga e os estábulos por exemplo). Tais atividades são compatíveis com as realidades do *Campus*, pode-se, então, afirmar que o uso dessa tecnologia contribuiria para a diminuição do uso da água tratada fonecida pela Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A. (EMBASA) e, conseqüentemente, diminuição dos custos com a mesma.

Salienta-se que essa água deve ser aproveitada para atividades, prioritariamente, de menor exigência em relação à qualidade, sendo que seu uso deverá atender às exigências qualitativas estabelecidas na Resolução nº 357/2005 do CONAMA (Brasil, 2005). Portanto, a implantação de um programa de monitoramento da qualidade da água nas “cisternas de produção” e em pequenos açudes é fundamental, sobretudo para irrigação de

hortaliças consumidas *in natura*, enquadradas na Classe 1 da Resolução nº 356 do CONAMA. Essas afirmações corroboram com Reis et al. (2011) ao avaliarem que a agricultura irrigada depende tanto da quantidade como da qualidade da água, porém o aspecto qualidade tem sido desprezado devido ao fato de que no passado as fontes de recursos hídricos eram abundantes e de melhor qualidade, além da fácil utilização.

Distribuição da precipitação no semiárido baiano

Através da Figura 3 pode-se observar os mapas de precipitação e percentual de dias com déficit hídrico para séries históricas com mais de 20 anos de observação na região do Semiárido Baiano. Verifica-se que a distribuição das chuvas são irregulares e em quantidades variadas, oscilando de 400 a 1400 mm e que os menores acúmulos pluviométricos se encontram na região norte do estado com precipitações em torno de 400 mm podendo ser observados nas áreas de coloração vermelha da Figura 3A. Pode-se inferir também que a precipitação média representativa do Semiárido Baiano gira em torno de 760 mm.

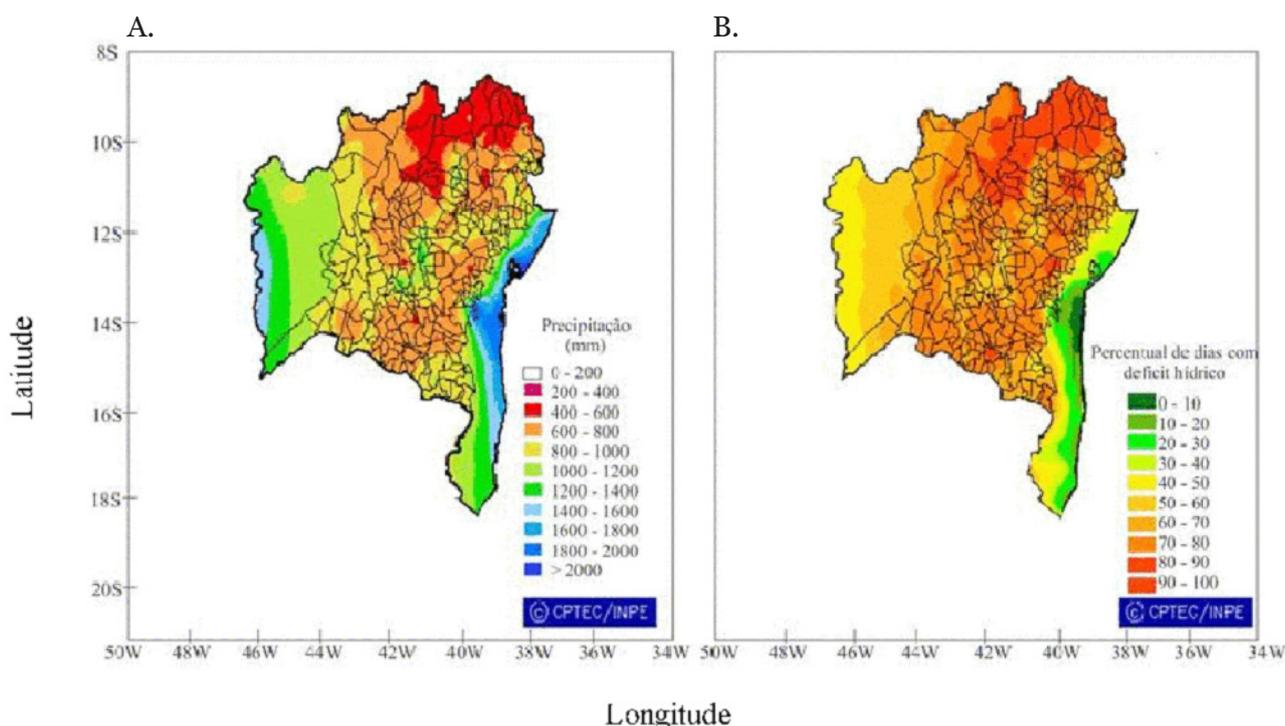
Os maiores índices pluviométricos observados na Figura 3A estão localizados em três regiões distintas, na costa leste, no Oeste do estado e em pontos isolados na região central. O aumento das precipitações nessas localidades podem estar associados aos seguintes fatores: a proximidade

com o oceano (faixa litorânea), resultando na influência de frentes frias sob a costa leste do estado; as elevadas altitudes em pontos isolados formando microclimas específicos (ex: grotas), e aos aspectos de relevo, associados a formação rochosa da Chapada Diamantina que, também, favorecem o aumento da precipitação na região central da Bahia; e aos vestígios das precipitações advindas da Região Amazônica que eleva os índices de precipitação no Oeste Baiano (Chaves, 1999; Tanajura et al., 2010).

No Semiárido Baiano as áreas de captação para alocar os reservatórios deverão ser dimensionadas em função da variabilidade do total de precipitação média que ocorre em cada microrregião, como mostrado na Figura 3A. A padronização de um mesmo tamanho de área de captação para todo o Semiárido poderá incorrer em erros e alguns reservatórios poderão não atingir o volume total dimensionado.

Observa-se também que, com a alta variabilidade pluviométrica entre os anos e os índices reduzidos de precipitação na Região Semiárida, torna-se frequente a ocorrência do fenômeno da seca, como pode se observa na Figura 3B, na qual o percentual de dias com déficit hídrico é mais visível na Região Norte do Estado da Bahia, local que se enquadra no “Polígono das Secas”.

Segundo Gnadlinger (2011), as sociedades vêm, ao longo dos tempos, desenvolvendo métodos direcionados à captação de água da chuva, a fim de melhorar a convivência com os



Fonte: PROCLIMA: <http://www.cptec.inpe.br/proclima>

Figura 3. Distribuição da precipitação nos municípios do Semiárido Baiano, no período de 1961 - 1990, em mm (A), e percentual de dias com déficit hídrico no período de 1970 - 1990, em % (B)

períodos prolongados de déficit hídrico; dentre essas metodologias se destacam as cisternas de produção, que têm assegurado a produção de alimentos de agricultores familiares distribuídos no Semiárido Brasileiro.

Pode-se inferir que no Semiárido a quantidade e a distribuição das precipitações são fatores preponderantes para o sucesso ou fracasso da agricultura dependente de chuva (agricultura de sequeiro) e cuja distribuição, no tempo e no espaço, é a principal responsável pela perda de safras agrícolas motivo pelo qual considerar a frequência e a distribuição das chuvas e dimensionar a área de captação de água são parâmetros de grande importância e que podem garantir, de forma acautelada, a disponibilidade de água para os sertanejos.

Estimativa do volume de água pluvial captado na malha asfáltica

Observa-se, na Tabela 2, a estimativa da capacidade dos reservatórios a serem alocados nas encostas das rodovias do Semiárido Baiano levando-se em consideração a média histórica de precipitação, o coeficiente de escoamento superficial e o comprimento do trecho asfaltado provido de calhas.

Tabela 2. Estimativa do volume médio captado (m^3) de água pluvial em rodovias pavimentadas com asfalto, em função da precipitação média anual (mm) no Semiárido Baiano

Comprimento do trecho asfaltado (m)	Coeficiente de escoamento superficial (C)*	Volume estimado (m^3)#		
		Precipitação (mm)		
		400	600	800
50	0,85 - 0,90	105	158	210
250	0,85 - 0,90	525	788	1050
500	0,85 - 0,90	1050	1575	2100
1000	0,85 - 0,90	2100	3150	4200

* Coeficiente de escoamento superficial obtido de Villela & Matos (1980)

Considerando-se uma largura média da rodovia de 6 m

Estima-se que o menor volume captado para as condições de contorno apresentadas seja em torno de $105 m^3$, considerando-se uma precipitação média anual de 400 mm e o comprimento do trecho de contribuição do asfalto de 50 m. Esses resultados são duas vezes maiores que os $52 m^3$ divulgados por Gnadlinger (2011) quando trata das cisternas de produção difundida pelo programa P1+2 do Governo Federal. Neste contexto é possível utilizar as rodovias brasileiras pavimentadas com o intuito de captar água da chuva, através do escoamento superficial.

Ainda analisando a Tabela 2 percebe-se que a estimativa do volume máximo captado para as condições de contorno apresentadas gira em torno de $4.200 m^3$, considerando-se

uma precipitação de 800 mm e o comprimento do trecho de contribuição do asfalto de 1.000 m. Esses resultados forçam uma reflexão em relação às dimensões e ao tipo de reservatório a ser construído, visto que o volume de água é muito elevado quando comparados as cisternas de produção ($52 m^3$). Estudos revelam que os componentes de um sistema de aproveitamento de água pluvial variam de acordo com o uso que se pretende fazer, da qualidade da água desejada, do espaço para as instalações e dos recursos financeiros disponíveis (Mantovan et al., 1995).

Assim, na estimativa da capacidade de armazenamento dos reservatórios a serem alocados nas encostas das rodovias do Semiárido Brasileiro, além de levar em consideração a média da série histórica de precipitação, deve-se observar, também, o estado de conservação dessas estradas e a infraestrutura de calhas construídas ao longo das rodovias. Estudos têm revelado que a captação da água da chuva e seu armazenamento em cisternas, além de promover a segurança hídrica promovem, também, a segurança alimentar e econômica de produtores rurais (Palhares & Guidone, 2012).

Para tanto, a qualidade do piso asfaltado e a limpeza das calhas é de importância fundamental para o resultado final da qualidade da água armazenada (Xavier et al., 2011), tendo em vista que os buracos na pista e as calhas sujas podem aumentar a turbidez e a quantidade de sólidos em suspensão, o que compromete e limita o uso desta água quando trabalhando com sistemas de irrigação localizada (Lemos Filho et al., 2011).

De posse dessas informações pode-se diagnosticar um alto potencial de captação de água pluvial, tanto pela eficiência da tecnologia como pelo seu custo de implantação, visto que a área de captação (Figura 4) já se encontra construída, ficando apenas a construção dos reservatórios que receberão a água de enxurrada; com isto, os custos poderão ser reduzidos consideravelmente.

Estimativa da área irrigada com água pluvial captada do asfalto

Observa-se, na Tabela 3, a estimativa da área máxima possível de ser cultivada para as culturas do feijão, cebola, melancia e milho a partir de um trecho asfaltado de 400 m de comprimento e 6 m de largura, tomando por base uma precipitação de 760 mm e coeficiente de escoamento superficial médio de 0,875; considerando a eficiência de aplicação do sistema de irrigação de 95%.

Na Tabela 3 observa-se que a área máxima de plantio, considerando-se o mesmo volume



Figura 4. Rodovia estadual baiana que liga os municípios de Senhor do Bonfim a Campo Formoso (A), mostrando detalhe das calhas para drenagem da água pluvial (B, C)

Tabela 3. Área máxima de plantio das culturas utilizando-se canteiros produtivos

Cultura	Consumo por ciclo* (mm)	Área máxima de plantio (ha)
Feijão	400	0,38
Cebola	450	0,34
Melancia	500	0,30
Milho	650	0,23

* Conforme Doorenbos & Kassam (2000)

disponível, depende do consumo de água por cada cultura durante o ciclo. Estima-se que a menor área disponível para plantio, visando às condições de contorno apresentadas, seja em torno de 0,23 ha para a cultura do milho e a maior área disponível para plantio gira em torno de 0,38 ha considerando-se o cultivo de feijão. Tendo em vista que essas culturas estão entre as principais culturas da base alimentar do sertanejo, percebe-se que a captação de água do asfalto pode propiciar mais uma alternativa na produção de alimentos para as comunidades e assentamentos rurais que vivem nas margens das rodovias do Semiárido Brasileiro.

Tais resultados corroboram com Siste et al. (2010) que estabeleceram uma área máxima cultivada de 1 ha por grupo de 10 a 20 famílias trabalhando com produção de hortaliças no vale do Jequitinhonha, utilizando água pluvial armazenada em pequenos açudes. Santos et al. (2012) ressaltam que para fins de irrigação faz-se necessário conhecer o tamanho da área a ser irrigada, a estimativa da evapotranspiração das culturas (ETc) e a duração média do ciclo produtivo dos cultivos, além de conhecer a capacidade do reservatório no qual a água será armazenada.

O Estado da Bahia possui cerca de 11.022,06 km de rodovias estaduais pavimentadas com asfalto e 2.262,1 km de rodovias federais, totalizando 13.284,16 km de rodovias asfaltadas, sendo que, do total cerca de 65% das rodovias pavimentadas encontra-se na porção semiárida do estado (DERBA, 2012). Visto esse comprimento expressivo das rodovias asfaltadas no Estado da

Bahia e o seu índice de precipitação acima da média para o semiárido brasileiro, pode-se inferir que o estado possui elevado potencial de captação de água pluvial para fins não potáveis.

Conclusões

1. As rodovias do Semiárido Baiano possuem elevado potencial de captação de água pluvial para fins não potáveis.
2. A água pluvial captada pela malha asfáltica possui severo grau de restrição quanto aos problemas de infiltração.
3. No que se refere a obstrução de emissores em sistemas de irrigação localizados, essa água representa baixo risco, exceto para o íon Fe que apresentou grau de restrição de obstrução moderado.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq (Processo no 562867/2010-4), pelo suporte financeiro e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, *Campus* Senhor do Bonfim pela disponibilização da área de estudo.

Literatura Citada

- Almeida, O. A. de. Qualidade da água de irrigação. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura. 2010. 234p.
- Amaral, L. A. do; Nader Filho, A.; Rossi Junior, O. D.; Ferreira, F. L. A.; Barros, L. S. S. Água de consumo humano como fator de risco à saúde em propriedades rurais. *Revista de Saúde Pública de São Paulo*, v.37, p.510-514, 2003.
- APHA - American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington: APHA/AWWA/WEF. 2005. 1268p.
- Ayers, R.S.; Westcot, D.W. A qualidade da água na agricultura. Estudos, Irrigação Drenagem FAO 29 Campina Grande: UFPB. 1999. 153p.

- Barroso, A. de A. F.; Gomes, G. E.; Lima, A. E. de O.; Palácio, H. A. de Q.; Lima, C. A. de. Avaliação da qualidade da água para irrigação na região Centro Sul no Estado do Ceará. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, p.588-593, 2011.
- Brasil. Resolução n. 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília: CONAMA. 2005.
- Brasil. Resolução n. 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente. Brasília: CONAMA. 2011.
- Capra, A.; Scicolone, B. Water quality and distribution uniformity in drip/trickle irrigation systems. *Journal of Agricultural Engineering Research*, v.70, p.355-365, 1998.
- Carvalho, J. R. S. de; Lima, J. C. A. L. de; Figueiras, M. L., Medeiros, L. L., Santos, S. M. dos; Gavazza, S. Influência do descarte das primeiras águas de chuva sobre a qualidade da água encaminhada às cisternas. In: *Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva*, 8, 2012. Campina Grande, Anais...Campina Grande: ABCMAC, 2012. CD-Rom
- Chaves, R. R. Variabilidade da precipitação na região sul do Nordeste do Brasil e sua associação com padrões atmosféricos. São José dos Campos: INPE. 1999. 159p. Dissertação Mestrado
- DERBA - Departamento de Infraestrutura de Transportes da Bahia. <http://www.derba.ba.gov.br/download/mapas/mapabahia.jpg>. 28 Set. 2012.
- Dias, N. da S.; Blanco, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. da S.; Lacerda, C. F. de. (ed.) *Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados*. Fortaleza: INCTSal. 2010. p.129-141.
- Doorenbos, J.; Kassam, A. H. O Efeito da água no rendimento das culturas. Campina Grande: UFPB. 2000. 306p.
- Freitas, M. B., Freitas, C. M. A vigilância da qualidade da água para consumo humano – Desafios e perspectivas para o Sistema Único de Saúde. *Ciência & Saúde Coletiva*, v.10, p.993-1004, 2005.
- Gnadlinger, J. Captação de água de chuva: Uma ferramenta para atendimento às populações rurais inseridas em localidades áridas e semiáridas. In: Medeiros, S. de S.; Gheyi, H. R.; Galvão, C. de O.; Paz, V. P. da S. (ed.) *Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas*, Campina Grande: INSA. 2011. p.325-360.
- Holanda, J. S.; Amorim, J. R. A.; Ferreira Neto, M.; Holanda, A. C. Qualidade da água para irrigação. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. da S.; Lacerda, C. F. de. (ed.) *Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados*. Fortaleza: INCTSal. 2010. p.43-61.
- Lemos Filho, Marco A. F., Zanini, J. R., Silva, E. R. S. da, Cazetta, J. O.; Ferraudo, A. S. Sistema com aeração, decantação e filtração para a melhoria da qualidade de água em irrigação localizada. *Engenharia Agrícola*, v.31, p.506-519, 2011.
- Leuck, M. F. Avaliação econômica do impacto de medidas individualizadas de conservação de água em Porto Alegre: UFRGS. 2008. 177p. Dissertação Mestrado
- Mantovan, P.; Pastorea, A.; Szpyrkowicz, L.; Zilio-Grandi, F. Characterization of rainwater quality from the Venice region network using multiway data analysis. *Science of the Total Environment*, v.164, p.27-43, 1995.
- Martins, C. C.; Soares, A. A.; Ramos, M. M.; Reis, E. F. dos. Aplicação de cloro orgânico no tratamento de tubogotejador utilizado na irrigação com água ferruginosa. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v.32, p.1-5, 2010.
- Moura, M. S.; Galvíncio, J. D.; Brito, L. T. de L.; Silva, A. de S.; Sá, I. I. de.; Leite, W. de M. Influência da precipitação pluviométrica nas áreas de captação de água de chuva na Bahia. In: *Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva*, 6, 2007, Bele Horizonte. Anais... Belo Horizonte: ABCMAC. 2007. CD-Rom
- Nakayama, F. S.; Boman, B. J.; Pitts, D. Maintenance. In: Lamm, F. R.; Ayars, J. E.; Nakayama, F. S. (Ed.) *Microirrigation for crop production: Design, operation, and management*. Amsterdam: Elsevier, 2006, p.389-430.
- Ngigi, S. What is the limit of up-scaling rainwater harvesting in a river basin? *Physics and Chemistry of the Earth*, v.28, p.944-956, 2003.
- Nogueira, M. A.; Cardoso, E. J. B. N. Mycorrhizal effectiveness and manganese toxicity in soybean as affected by soil type and endophyte. *Scientia Agrícola*, v.60, p.329-335, 2003.
- Obrador, A.; Novillo, J.; Alvarez, J. M. Mobility and availability to plants of two zinc sources applied to a calcareous soil. *Soil Science Society of America Journal*, v.67, p.564-572, 2003.
- Palhares, J. C. P.; Guidoni, A. L. Qualidade da água de chuva armazenada em cisterna utilizada na dessedentação de suínos e bovinos de corte. *Ambiente & Água*, v.7, p.244-254, 2012.
- Pimenta, S. M.; Peña, A. P.; Gomes, P. S. Aplicação de métodos físicos, químicos e biológicos na avaliação da qualidade das águas em áreas de aproveitamento hidroelétrico da bacia do Rio São Tomás, município de Rio Verde – Goiás. *Sociedade & Natureza*, v.21, p.393-412, 2009.
- Prado, G. S.; Muller, M. S. K. Sistema de aproveitamento de água para edifícios. *Revista Técnica*, v.1, p.77-80, 2007.
- Reis, C. F. dos; Vilas Boas, M. A.; Mercante, E.; Hermes, E.; Reisdorfer, M. Avaliação da qualidade da água para irrigação em Salto do Lontra – PR. *Engenharia Ambiental*, v.8, p.69-78, 2011.

- Ribeiro, T. A. P.; Paterniani, J. E. S.; Airoidi, R. P. S. S.; Silva, M. J. M. O efeito da qualidade da água no entupimento de emissores e no desempenho de filtros utilizados na irrigação por gotejamento. *Irriga*, v.9, p.136-149, 2004.
- Santos, D. B.; Santana, G. da S.; Azevedo, D. de O.; Silva, A. J. P. da; Silva Neto, M. D. da. Captação de água de chuva para fins agropecuários no semiárido. In: Gheyi, H. R.; Paz, V. P. da S.; Medeiros, S. de S.; Galvão, C. de O. (ed.). Recursos hídricos em regiões semiáridas: Estudos e aplicações. Campina Grande: INSA/UFRB. 2012. p.75-98.
- SEI – Superintendência de Estudos Econômicos Sociais da Bahia. Base cartográfica digital do Estado da Bahia. Salvador–BA: Secretaria de Planejamento do Governo do Estado da Bahia, 2008. CD-Rom
- Silva, V. de P. R. da; Pereira, E. R. R.; Almeida, R. S. R. Estudo da variabilidade anual e intra-anual da precipitação na região Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.27, p.163-172, 2012.
- Simmons, G.; Hope, V.; Lewis, G.; Whitmore, J.; Gao, W. Contamination of potable roof collected rainwater in Auckland, New Zealand. *Water Resource*, v.35, p.1518-1524, 2001.
- Siste, C. E.; Sarmiento, O. F.; Leite, V. M. Açudes comunitários: Uma estratégia para a segurança hídrica e alimentar no Vale do Jequitinhonha (MG). *Agriculturas*, v.7, p.15-17, 2010.
- Sobral, L. F.; Nogueira, L. C. Influência de nitrogênio e potássio, via fertirrigação, em atributos do solo, níveis críticos foliares e produção do coqueiro-anão. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.1675-1682, 2008.
- Tanajura, C. A. S.; Genz, F.; Araújo, H. A. de. Mudanças climáticas e recursos hídricos na Bahia: Validação da simulação do clima presente do HADRM3P e comparação com os cenários A2 e B2 para 2070-2100. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.25, p.345-358, 2010.
- Villela, S. M.; Mattos, A. Hidrologia aplicada. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil Ltda., 1980. 250p.
- Xavier, R. P.; Siqueira, L. P.; Vital, F. A. C.; Rocha, F. J. S.; Irmão, J. I.; Calazans, G. M. T. Microbiological quality of drinking rainwater in the inland region of Pajeú, Pernambuco, Northeast Brazil. *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo*, v.53, p.121-124, 2011.