

Irrigação com aproveitamento da água das chuvas e bombeamento fotovoltaico

Edrey Gabriel Oliveira Martins (IFCE, *campus* de Juazeiro do Norte) edreygabriel@hotmail.com

Alexandre Magno Ferreira Diniz (IFCE, *campus* de Juazeiro do Norte) alex_2000@ig.com.br

Rômulo Diniz Araújo (IFCE, *campus* de Juazeiro do Norte) romulo_3006@hotmail.com

Resumo

O campus do IFCE possui grandes jardins e um campo de futebol. Numa região do semiárido em que se encontra o campus, é grande o volume de água e os gastos com energia elétrica para manter as áreas verdes. A pesquisa tem o objetivo de propor uma estratégia para implantação de um sistema irrigação com água das chuvas e bombeamento com painéis fotovoltaicos. O dimensionamento das cisternas da água das chuvas é realizado pelo método Rippl. As curvas de intensidade de precipitação mensal são construídas baseadas no algoritmo de reconhecimento de padrão para um período histórico de 20 anos. A demanda de água é obtida por medições no ponto de consumo, conforme a programação de irrigação executada pelo jardineiro. Como resultados, um total de 5 cisternas de 16 m³ é dimensionada para o uso na irrigação nos meses de estiagem, considerando uma demanda média anual constante de 18 m³/mês. O arranjo dos painéis fotovoltaicos é formado por 4 painéis de 250 Wp em paralelo para suprir uma bomba de 1 CV operando 5 h/dia. Considerando, a média da menor intensidade de irradiação solar mensal de 486 m²/dia da localidade, o número de horas de sol pleno encontrado é de 4,86 h. Neste intervalo de tempo, os painéis fotovoltaicos podem gerar uma energia de 4,49 kWhp/dia. A implementação do sistema pode representar uma economia de energia de 120,15 kWh/mês e uma redução da água do poço de, aproximadamente, 20 m³/mês, durante os 4 meses do ano de baixa precipitação.

Palavras-chave: Aproveitamento da água das chuvas, Semiárido, Mitigação ambiental, Bombeamento fotovoltaico.

Irrigation with rainwater harvesting and photovoltaic water pumping

Abstract

The campus of IFCE is localized in a semiarid region, has large gardens and a soccer field. It is necessary a large volume of water and electrical energy to keep these green areas. The research aims to propose a strategy for implementation of an irrigation system with rainwater and pumping with photovoltaic panels. The sizing of rainwater tanks is done by the Rippl method. The rainfall curves by month are defined based on pattern recognition algorithm to a historic period of 20 years. The water demand of campus is obtained by measurement at the point of consumption, according to irrigation scheduling performed by the gardener. As a result, a total of five tanks of 16 m³ is sized for use in the irrigation in the months of drought, considering the average demand of 18 m³/month. The arrangement of photovoltaic panels is made up of 4 panels of 250 Wp in parallel to feed a pump of 1 HP working 5 h/day. Considering, the average of the lower intensity of monthly solar irradiation of 486 m²/day of the locality, the number of full sun hours found is 4.86 h. In this time, the photovoltaic panels can generate a power of 4.49 kWhp / day. The implementation of the system may represent an energy saving of 120.15 kWh/month and a reduction of water from the well of approximately 20 m³/month for 4 months of low rainfall.

Key-words: Rainwater harvesting, Semiarid, Environmental mitigation, Photovoltaic pumping.

1. Introdução

Na atualidade, observa-se cada vez mais que os problemas relacionados com o binômio água-energia ganham grandes proporções, promovendo racionamentos e dificuldades para toda sociedade. Muitas vezes, a falta desses recursos é provocada pelo crescimento populacional demasiado das cidades, ocupação e poluição de áreas de captação de água, escassez de recursos hídricos subterrâneos ou de superfície, e da grande demanda de água e energia por parte das indústrias, comércios e residências (ROMEIRO *et al.*, 2001). Além disso, no Brasil, o baixo nível dos reservatórios das hidrelétricas, o intenso uso da energia termelétrica, e o longo período de seca, são os principais fatores responsáveis em pressionar para cima as tarifas praticadas na conta de energia.

A cidade de Juazeiro do Norte está localizada na Região sul do Ceará, no semiárido do Nordeste, com uma população estimada em 261.289 (IBGE, 2013). O clima da região é caracterizado por irregulares e baixos índices pluviométricos anuais, períodos longos de seca, temperaturas altas e escassez de recursos hídricos. A bacia aquífera do Cariri, que abastece a cidade de Juazeiro do Norte, possui água de excelente qualidade e de baixo custo de tratamento (COGERH, 2007). Praticamente o sistema de abastecimento público de Juazeiro do Norte faz a captação por meio de poços tubulares de toda água para o abastecimento da cidade 96,4% é oriunda de poços (CAGECE, 2012). Ainda, é comum a existência de poços tubulares em grandes propriedades particulares. Esse recurso natural, de grande importância social e econômica para a região, não é renovável quando usado na sua exaustão.

O Instituto Federal do Ceará (IFCE), *campus* Juazeiro do Norte-CE, possui grandes áreas de jardins e um campo de futebol gramado. A água usada no *campus*, captada de um poço tubular semi-artesiano, é armazenada em uma cisterna, depois é bombeada para um reservatório elevado, e então, é distribuída por gravidade para toda instalação hidráulica. A demanda de água e energia é bem elevada, pois é grande o esforço de manter as áreas de jardins em perfeito estado de conservação, e o campo de futebol sempre verde e em condição de jogo.

A irrigação dos gramados é realizada por mangueiras microperfuradas e por aspersor rotativo. Todo procedimento de irrigação é realizado por regras heurísticas (regras baseadas na experiência do jardineiro), que determina o tempo máximo para mudar o local da mangueira ou aspersor. Na prática, muitas vezes, observa-se excesso de água usado na irrigação, pois não existem parâmetros de referência, por parte do jardineiro, para o controle da água. O uso contínuo e demasiado do poço provocam a degradação da qualidade da água e a redução da vazão. O assoreamento (acúmulo de terra e detritos dentro do poço) do poço é um dos principais motivos desse problema, que pode até comprometer o abastecimento do *campus* no futuro. Além disso, as bombas do sistema de abastecimento trabalham, praticamente, o dia todo para manter cheios os reservatórios de água. Esse processo operacional onera as despesas do *campus*, isto porque a energia elétrica tem grande parcela na planilha de custos.

O projeto proposto faz parte de um conjunto de ações de redução do consumo de água e de energia elétrica para o *campus*, que busca mudanças na cultura do uso inadequado da água e do consumo demasiado de energia. A partir da implantação do sistema, a água bombeada do poço é gradualmente substituída pela água das chuvas na irrigação dos jardins e do campo de futebol. Ao mesmo tempo, o sistema contribui na redução da conta de energia por meio de painéis fotovoltaicos. O projeto tem o objetivo de propor uma estratégia para implantação de um sistema de irrigação exclusivo com água das chuvas para o uso nas áreas verdes do *campus* Juazeiro do Norte do IFCE, utilizando bombas alimentadas por painéis fotovoltaicos.

2. Aproveitamento da água das chuvas

Diversos países buscam minimizar o consumo de água potável com o aproveitamento da água das chuvas para fins não potáveis em várias aplicações. As aeronaves do centro de manutenção da Lufthansa-Technik AG na Alemanha são lavadas com água da chuva, com redução de 60% da água da rede de distribuição. A unidade de produção de automóveis da Volkswagen na Polônia reduziu em 10% a água da rede de distribuição com o uso de água das chuvas nas torres de refrigeração. O jardim Zoológico de Taipé (Formosa) utiliza água das chuvas para lavagem das áreas de confinamento dos animais. Em Changi (Cingapura), a pista do aeroporto é usada como área de captação da água das chuvas para o uso na descarga das bacias sanitárias dos banheiros do próprio aeroporto (TOMAZ, 2005).

No Brasil, também existem alguns exemplos do uso de água de chuva para fins não potável. Guarulhos (São Paulo) algumas indústrias usam água de chuva no processo de tingimento de tecidos. Xerém (Rio de Janeiro) uma indústria química utilizam água de chuvas no processo industrial. Outros exemplos podem ser vistos em empresas de hotelaria, supermercados, postos de combustível, templos religiosos, e universidades (TOMAZ, 2005; PETERS, 2006).

A utilização de fonte alternativa de energia de baixos impactos ambientais, como a geração com painéis fotovoltaicos, é uma das formas de reduzir os custos da conta de energia. A energia fotovoltaica tem aumentado a sua participação na matriz energética mundial. Nos últimos anos, muitos países têm investido em energia fotovoltaica. Como exemplos, a potência instalada de energia fotovoltaica interligada na rede elétrica na Itália é de 9,3 GW, na Alemanha é de 7,5 GW, e nos Estados Unidos é de 7,7 GW (EPIA, 2011). Avanços tecnológicos, com soluções inovadoras e de baixo custo, aplicados na construção dos painéis fotovoltaicos melhoraram a relação custos e benefícios. Mais ainda, bombas especiais de alto rendimento de operação, especialmente projetadas para trabalharem com painéis fotovoltaicos, estão com preços médios mais acessíveis (SETIAWAN *et al.*, 2014).

O Brasil tem um grande potencial de geração de energia fotovoltaica. O clima da região Nordeste (de altos índices de irradiação solar, e o sol brilhando, praticamente, o ano todo) é propício à implantação de sistema de geração de energia fotovoltaica. Os índices de irradiação solar são muito elevados (5,5 – 6,5 kWh/m²), além disso, é grande o número de horas de sol diário, em média são de 8 a 10 horas (TIBA, 2001). Apesar de o Brasil possuir boas condições para implantação de central geradora solar fotovoltaica, é inexpressiva a potência instalada, totalizando somente 0,01 GW, que representa 0,01% da matriz energética (ANEEL, 2015).

O bombeamento de água é uma das aplicações do uso da energia fotovoltaica como sistema isolado. Na literatura são encontrados vários trabalhos sobre o tema. Michels *et al.* (2009) realizaram avaliação do bombeamento de água do sistema de abastecimento da Universidade de Tecnológica Federal do Paraná. O sistema de bombeamento tem altura manométrica de 20 m. O estudo comparou a eficiência do sistema baseado no solstício de inverno e verão. Os resultados apresentados de eficiência dos painéis foram de 9,58% (2.056 l/dia) no solstício de inverno e de 9,07% (2.377 l/dia) no solstício de verão. O estudo conclui que o tempo de exposição ao sol foi determinante para o aumento da vazão, mesmo com a redução da eficiência do sistema.

Kolling *et al.* (2004) fizeram uma análise do sistema de bombeamento com energia fotovoltaica. Os autores desenvolveram um modelo baseado na regressão linear usando como variáveis de estado a altura manométrica, vazão e irradiação solar. Os resultados mostraram que a potência gerada pelos painéis e a vazão estão diretamente relacionadas com a irradiação solar e altura manométrica.

Kordzadeh (2010) buscou aumentar a eficiência dos painéis fotovoltaicos. A eficiência reduz

com excesso de temperatura dos painéis. A proposta dos autores foi usar uma fina lâmina de água para refrigerar os painéis. Eskander e Zaki (1997) estudaram o uso do motor de indução alimentado por painéis fotovoltaicos para o uso em bombeamento. As estratégias adotadas foram o uso de painéis somente nas horas de máxima eficiência e o motor com rotação, também, de máxima eficiência. Inicialmente, o custo de aquisição da energia fotovoltaica é elevado. Ao longo dos anos, o investimento é pago com a redução dos custos com energia elétrica, isto devido o uso intensivo das bombas.

Outro tema importante é o desenvolvimento e aplicação de modelos de previsão. Os modelos de previsão são fundamentais para entender o comportamento do regime de precipitação. Existem na literatura vários modelos matemáticos de previsão estatística de séries temporais (JOWITT e XU, 1992; WHEELRIGHT *et al.*, 1993). Dentre esses, destaca-se a técnica de reconhecimento de padrões abordada de maneira tradicional baseado em métodos estatísticos ou em métodos baseados nos princípios da inteligência artificial, principalmente, redes neurais artificiais, lógica nebulosa e algoritmos genéticos. O reconhecimento de padrões tem como características a grande quantidade de dados históricos e seus resultados são muito próximos da intuição humana (WONG *et al.*, 2010).

3. Materiais e métodos

O *campus* Juazeiro do Norte-CE ocupa uma área de 50.800m², com várias áreas intercaladas de edificações e áreas de jardins, além de um campo de futebol nas dimensões oficiais, Figura 1. As principais edificações do *campus* capazes de fazer a captação da água das chuvas são os seis blocos de salas de aulas e de administração, e a cobertura da quadra de esporte. A demanda de água é destinada ao funcionamento das instalações, a irrigação de plantas e gramados dos jardins, e ao campo de futebol.



Figura 1 - Vista aérea do IFCE campus Juazeiro do Norte

No lado superior esquerdo da Figura 1 encontra-se a cobertura da quadra de esporte. O campo de futebol se destaca pela grande área gramada e a pista de corrida em volta. Os jardins do *campus* tem a função de estética, de melhoria da qualidade ambiental, e de espaço de

convivência de alunos e servidores. Eles são essenciais para amenizar o forte calor que atinge a região.

O campo de futebol de dimensões 90 m x 40 m é usado como laboratório para o curso de educação física e práticas de esportes pela comunidade. A atual rede de abastecimento e distribuição de água do *campus* é composta de um poço semi-artesiano, uma cisterna de 128 m³, um reservatório elevatório de 18 m³, e rede de distribuição. A torre do reservatório tem altura de 20 m e no seu interior tem duas bombas de 3 CV, operando em paralelo, que faz o bombeamento da cisterna para o reservatório. Ao lado da torre encontra-se a cisterna e o poço semi-artesiano com uma bomba submersa.

3.1 Sistema proposto

O sistema proposto é composto de uma sequência de seis etapas. O diagrama de blocos da Figura 2 mostra o processo do aproveitamento da água das chuvas, e os seus elementos básicos (OLIVEIRA, 1999).

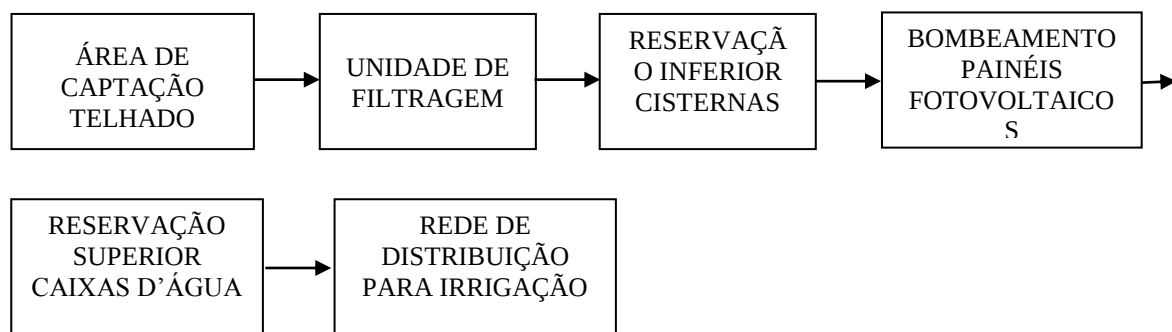


Figura 2 - Diagrama de blocos do sistema

As áreas de captação da água das chuvas escolhido são os telhados dos blocos de salas de aulas/administração. As calhas existentes nos telhados são interligadas a tubos de PVC, para levar a água captada das chuvas até a unidade de filtragem. A unidade de filtragem é destinada a separar folhas e outros resíduos sólidos da água captada, a fim de evitar que este material chegue ao interior da cisterna.

O sistema de reservação é dimensionado pelo método *Rippl*, bastante conhecido no dimensionamento de cisterna, tem demonstrado resultados satisfatórios, mesmo em regiões de baixos índices de precipitação (DORNELLES *et al.*, 2010). O método usa séries históricas mensais de precipitação local, e considera como a demanda de água constante. A precisão no dimensionamento depende do período de coleta dos dados da pluviometria, a eficiência dos resultados está diretamente relacionada com o tamanho da amostra (MAY, 2004). O dimensionamento do reservatório pode ser feito pelo método analítico ou gráfico (ANBT, 2007). O método analítico, o mais comum, usado neste trabalho, o volume V (m³) é determinado como

$$V = \sum_{i=1}^t S(t) \quad (01)$$

onde $S(t)$ é o volume de água no reservatório de cada mês ($t = 1, \dots, 12$), para $S(t) > 0$. Por sua vez o $S(t)$ é função do volume da demanda mensal $D(t)$ e do volume de água das precipitações $Q(t)$, definida por

$$S(t) = D(t) - Q(t) \quad (02)$$

e

$$Q(t) = P(t).C.A \quad (03)$$

onde $P(t)$ é a precipitação média mensal (mm), A é a área de captação da água (m^2), e C é o coeficiente de escoamento superficial (*Runoff*). O coeficiente de *Runoff* tem o valor de 0,85, valor recomendado pela ASCE (1992) para edificações cobertas com telhas de barro.

A demanda mensal foi determinada por medições da quantidade de água usada na irrigação, por meio de um hidrômetro de classe metrológica B, relojoaria 45°, vazão nominal de 1,5 $m^3/h \times DN \frac{3}{4}$ ", multijato, transmissão magnética, leitura direta, funcionamento reversível, e cúpula em policarbonato transparente.

O sistema de reservação inferior utiliza cisterna semienterrada, apropriada para receber água das chuvas, construída em PVC e com capacidade de 16 m^3 . Na parte superior da cisterna possui uma entrada de inspeção para fazer trabalhos de manutenção interna. As cisternas são dispostas em série e interligadas com tubos de PVC, formando um sistema de vasos comunicantes. A primeira cisterna da sequência recebe diretamente a água da unidade de filtragem, e na última cisterna é colocada uma bomba submersa, alimentada por painéis fotovoltaicos, para fazer o recalque da água até as caixas d'água. Desta forma, pretende-se minimizar os possíveis problemas de sucção de resíduos para o interior da bomba. Uma bomba submersa é usada no sistema, para ser alimentada com os painéis fotovoltaicos.

Na Figura 3 mostra o sistema, inclusive, a unidade de monitoramento via telemetria para as medições de vazão e consumo de energia elétrica.

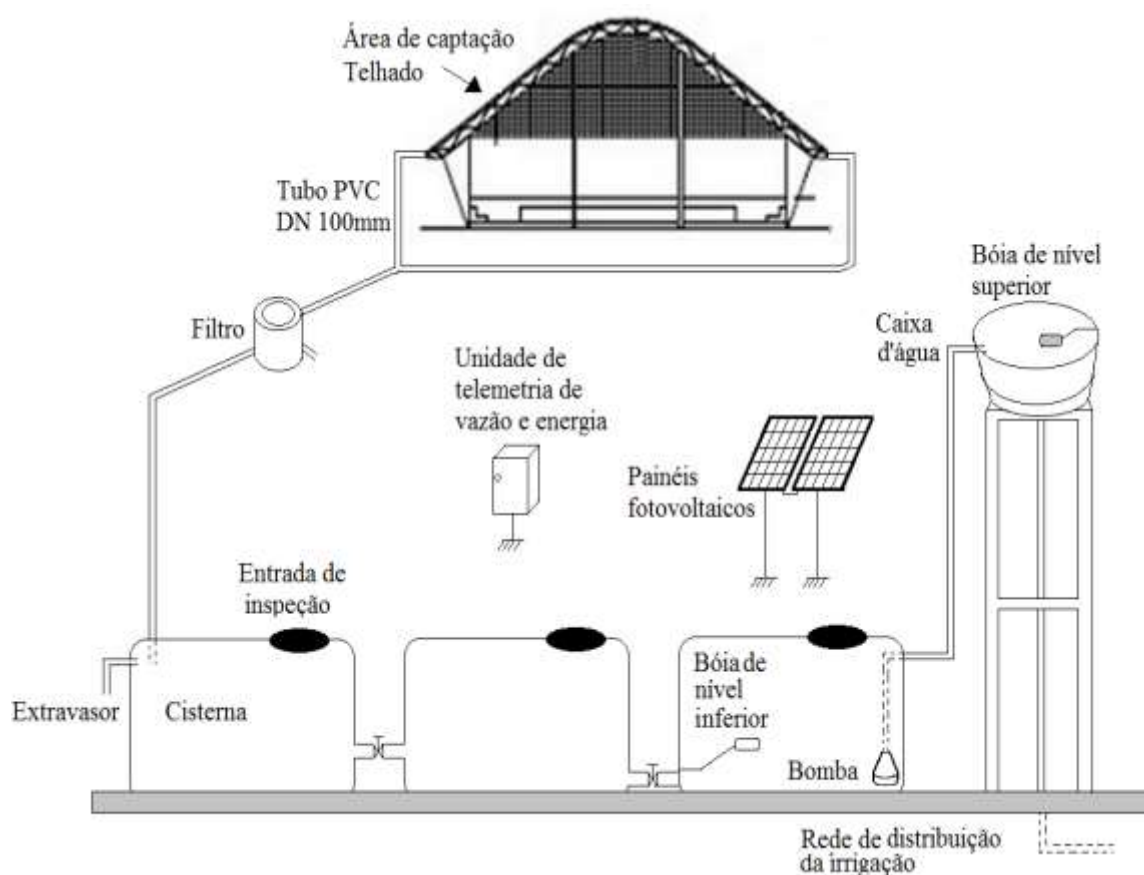
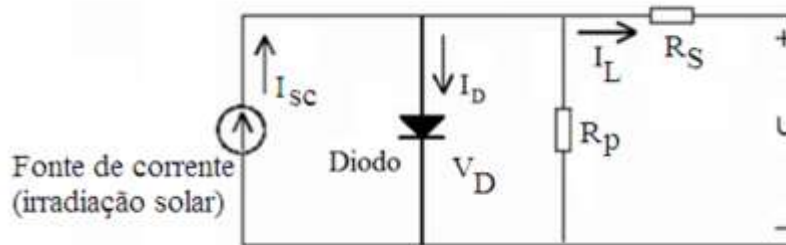


Figura 3 – Sistema de aproveitamento da água das chuvas

Os dados obtidos serão disponibilizados visando futuras pesquisas nas áreas de melhoria de eficiência energética, do uso racional e consciente da água, de avaliação da irradiação solar fotovoltaica, de eficiência os painéis fotovoltaicos, e do potencial da geração solar.

3.2 Energia fotovoltaica

A bomba é alimentada por uma fonte de energia fotovoltaica, em paralelo, na configuração isolada, sem a necessidade de armazenagem usando baterias. Os terminais de saída do painel são ligados diretamente ao inversor CC-CA que, por sua vez, é ligado à bomba (carga elétrica). As células fotovoltaicas são construídas com semicondutores, gerando Corrente Contínua (CC). A Figura 4 apresenta um modelo bastante utilizado para representar a célula fotovoltaica.



Fonte: BONKOUNGOU *et al.* (2013).

Figura 4 – Modelo da célula fotovoltaica

A resistência em paralelo (R_p) representa as perdas devido a corrente de fuga, e a resistência em série (R_s) com a carga representa as perdas ôhmicas do material semicondutor. A corrente I_{sc} da fonte de corrente de uma célula fotovoltaica do modelo mostrada na Figura 4 é dada por (VILLALVA, 2010)

$$I = I_{sc} - I_0 \left[\exp \left(\frac{U + R_s I}{V_t a} \right) \right] - \frac{U + R_s I}{R_p} \quad (04)$$

onde I_{sc} é a corrente da fonte de corrente, U (V) é a tensão terminal do painel, V_D (V) é a tensão no diodo, I_0 (A) é a corrente de saturação reversa do diodo, I (A) é a corrente na carga, a é a constante de idealidade do diodo, e V_t é a tensão térmica do painel. A tensão térmica é expressa como

$$V_t = \frac{N_s \cdot K \cdot T}{q} \quad (05)$$

em que N_s é o número de células por módulo associada em série, K é a constante de Boltzman ($1,34 \times 10^{-23}$ J/K), T é a temperatura (K) da junção P-N do diodo, e q é carga do elétron ($1,60217657 \times 10^{-19}$ C). A tensão tem pouco efeito com a variação da radiação solar, mas a corrente reduz na proporção que o fluxo da radiação diminui, mantendo-se constante a temperatura ambiente. Por outro lado, a tensão diminui com a variação da temperatura do painel fotovoltaico, e a corrente tem pouca alteração, neste caso mantendo-se constante a irradiação solar.

A irradiação solar é um dos parâmetros importantes para dimensionar o painel fotovoltaico. A irradiação solar representa a energia que incide na superfície por unidade de área (W/m^2) durante um período de tempo. A irradiação média que chega a superfície da terra é de $1000 W/m^2$, considerando uma faixa de espectro da luz visível de 400 a 700 nm, aproveitável. O campus encontra-se nas coordenadas geográficas $7^\circ 14' 43''$ Sul e $39^\circ 18' 24''$ Oeste, e nesta área a irradiação solar diária média mensal é vista na Figura 5.

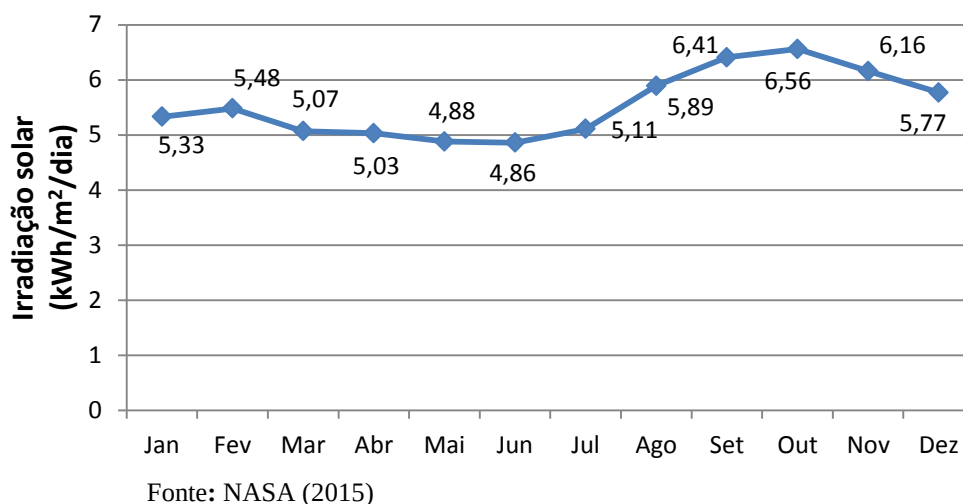


Figura 5 – Irradiação solar no campus

As maiores intensidades de irradiação solar estão entre os meses de agosto a dezembro, com pico de 6,56 kWh/m²/dia no mês de outubro. A média anual é de 5,55 kWh/m²/dia. A Equação (06) define o número de horas de sol pleno por dia (h_{sp}).

$$h_{sp} = \frac{I_{rr}}{1000W / m^2} \quad (06)$$

onde I_{rr} é a irradiação solar por dia (Wh/dia).

A energia gerada por um painel fotovoltaica é função da potência da carga (bomba), das horas de pleno sol e do rendimento do inversor. A unidade da energia gerada é o quilowatt-hora pico (kWhp). A expressão para a energia gerada é dada por

$$E_g = P_H \cdot h_{sp} \cdot \eta_{sist} \quad (07)$$

em que P_H é a potência da bomba (kW), e η_{sist} é a eficiência do sistema.

Comercialmente, a tecnologia de fabricação do painel fotovoltaico é construída de silício cristalino, subdividido em monocristalino e policristalino. O painel monocristalino tem melhor rendimento e custo de aquisição mais elevado, em relação ao painel policristalino (WALKER, 2001). A escolha do tipo de painel é definida por análises financeira ou técnica. Um painel fotovoltaico típico é formado por 36 a 72 células, de tensão de saída de 12 a 36 V. Os painéis podem ser conectados em série, neste caso, para aumentar a tensão de saída, ou em paralelo, para aumentar a corrente, ou na combinação dos dois arranjos, série-paralelo.

3.3 Bomba hidráulica

A potência hidráulica P_H (W) é uma função da vazão e da altura manométrica total, e do rendimento global das bombas (η_b) (SANKS, 1998).

$$P_H = \gamma \cdot \frac{Q \cdot H_T}{\eta_b} \quad (08)$$

onde γ é o peso específico da água (kN/m), Q é a vazão (m^3/h), e a altura manométrica total H_T (m), $\eta_b = \eta_{b1} \cdot \eta_{b2} \dots \eta_{bn}$ é o rendimento global das bombas, e n é a quantidade de bombas (1, 2, 3, ..., $n-1$, n).

A energia (kWh) consumida pela bomba é

$$E_H = \frac{P_H \cdot t}{1000} \quad (09)$$

onde t é o tempo (h) de operação da bomba.

4. Resultados e discussões

A estimativa da demanda de água por área (l/m^2) é conseguida por medições no ponto de consumo, baseada na programação heurística do jardineiro. Um total de 36 amostras foram coletas em 18 dias dos meses de verão, de temperatura em torno de $31^\circ C$ nas horas das coletas. A cada dia foram coletadas duas medidas por dia (manhã e tarde). A irrigação da grama-esmeralda (*Zoysia Japonica Steud*) dos jardins e do campo de futebol é realizada a cada semana, nos dias de segunda-feira, quarta-feira e sábado. Os resultados da demanda de água são mostrados na Figura 6.

As intensidades das precipitações mensais, determinadas pela técnica de reconhecimento de padrões, são apresentadas na Figura 7.

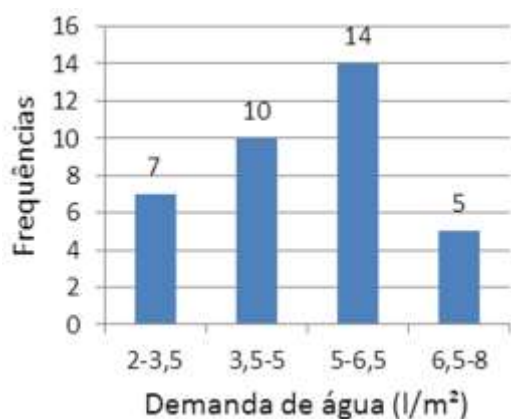


Figura 6 – Demanda de água por área

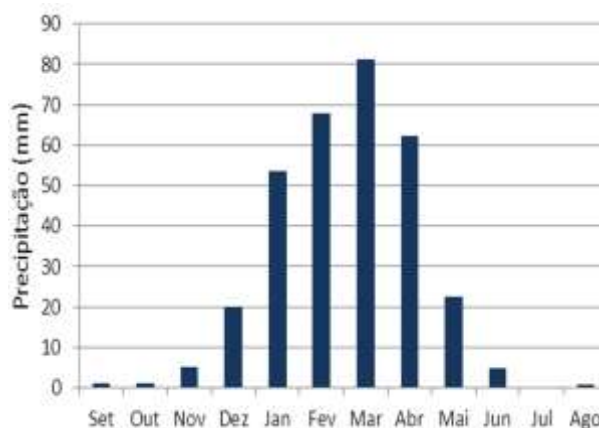


Figura 7 – Precipitação mensal histórica

A demanda de água de maior frequência está no intervalo de 5 a 6,5 l/m^2 , com 14 amostras. Na pesquisa, foi considerada a média da demanda (5,75 l/m^2) do intervalo da maior frequência de amostras. A área de irrigação considerada na pesquisa é de 4000 m^2 , que representa 55,5% da área total.

A Figura 7 mostra que o início das precipitações ocorre em novembro e finaliza em junho. Em quatro meses do ano (conhecido como quadra chuvosa), de janeiro a abril, registra as maiores precipitações. O período de estiagem ocorre nos meses de setembro, outubro, julho e agosto, na sequência vista na Figura 7. Nos meses de setembro a dezembro, é período considerado crítico, devido à baixa precipitação e o registro de altas temperaturas. Nesses quatro meses a demanda de água e a tarifa de energia são elevadas (baixo nível dos reservatórios das hidroelétricas). Os resultados do dimensionamento do tamanho das cisternas pelo método Rippl, é mostrado na Tabela 1.

Meses	Precipitação (mm)	Demanda (m³)	Coefficiente de Escoamento	Área de Captação (m²)	Q(t) (m³)	D(t) (m³)	S(t) (m³)
Jan	54	18	0,85	29 326	133,4	-114,5	-
Fev	68	18	0,85	29 326	169,5	-151,5	-
Mar	81	18	0,85	29 326	202,3	-184,3	-
Abr	62	18	0,85	29 326	155,0	-137,0	-
Mai	23	18	0,85	29 326	56,2	-38,2	-
Jun	5	18	0,85	29 326	12,4	5,6	5,6
Jul	0	18	0,85	29 326	0,0	18,0	18,0
Ago	0,1	18	0,85	29 326	1,1	16,9	16,9
Set	1,2	18	0,85	29 326	3,1	14,9	14,9
Out	1,1	18	0,85	29 326	2,9	15,1	15,1
Nov	5	18	0,85	29 326	12,7	5,3	5,3
Dez	20	18	0,85	29 326	46,9	-31,9	-
Volume total do reservatório (m³)							75,8

Tabela 1 – Método *Rippl* para o dimensionamento do reservatório

Na Tabela 1, a coluna 2 mostra a precipitação medida para todos os meses do ano no período histórico de 20 anos. A coluna 3 apresenta a demanda constante de água do mês. A demanda considerada foi a mais elevada do ano, referente o mês de julho (pior situação). Na coluna 4, é definido o coeficiente de escoamento de 0,85, considerando a captação com telhado impermeável. Na coluna 5, a área de captação refere-se à soma das áreas dos telhados dos blocos A, B, C, D e E (Figura 1). A coluna 6, mostra a quantidade de água aproveitada, obtida pelo produto das colunas 2, 4 e 5, e dividido por mil para obter na unidade de metros cúbicos (m³). A coluna 7 é o volume da demanda mensal, obtido pela diferença da demanda (coluna 3) e volume da demanda (coluna 6).

Na coluna 8 (última coluna da Tabela 1), é apresentado o volume positivo da demanda mensal. O dimensionamento do reservatório (m³) é a soma dos valores da coluna 8. O resultado obtido para o volume total do reservatório é de 75,80 m³. O reservatório especificado para o projeto tem a capacidade de 16 m³, então dividindo o volume total pela capacidade de um reservatório, obtêm-se, aproximadamente, 5 reservatórios (cisternas semienterradas). Isto para suprir a demanda anual de água utilizado na irrigação do campo de futebol e dos jardins do *campus*. Além disso, foi dimensionado 5 caixas d'água de 3 m³ (total 15 m³), visando garantir a continuidade do abastecimento nos dias nublados e de baixa irradiação solar.

A bomba especificada deve ser capaz de fazer a recarga, diariamente, das caixas d'água do sistema. Considerando a situação em que é usada toda água disponível nas caixas (pior situação), o volume bombeado será de 15 m³/dia em 5 h de bombeamento, e vazão de 3 m³/h. Usando a Equação (08) para encontrar a potência da bomba, para altura manométrica total de 15 m (incluindo as perdas de carga de 2m), peso específico da água de 9,79 KN/m³ (20°C), rendimento da bomba de 55%, tem-se a potência da bomba de 801 W (1,09 CV). Da Equação (09), encontra-se a energia consumida de 4,01 kWh. A bomba especificada é de 1,0 CV (valor comercial), acoplada a um motor elétrico.

O motor especificado para a bomba é monofásico, potência de 1 CV, 220 V, fator de potência 0,60, corrente a plena carga de 1,84 A, rotação de 1800 rpm. O inversor (CC/CA) especificado tem potência de 1 kW, monofásico, 220V, corrente nominal de saída de 4 A. rendimento de 90%.

O número de horas de sol pleno é determinado considerando a irradiação solar de 4,86 kWh/m²/dia, este é o valor mínimo anual de acordo com a Figura 8. Da Equação (06), o h_{SP} calculado é de 4,86 h. O painel fotovoltaico especificado tem potência de 250 Wp, e eficiência média de 6,0 kW/m² por dia, na temperatura ambiente de 29°C. O painel é formado por 72 células monocristalino, tensão de alimentação de 36 V, e corrente contínua de 4,90 A. O sistema de energia fotovoltaico opera sem o uso de baterias (acumuladores de energia).

A energia gerada por um painel de 250 Wp, nas 4,86 h de horas de sol pleno, é de 1,22 kWhp/dia. O consumo de energia da bomba é de 4,01 kW/dia (5 h de operação). A eficiência do sistema é de 83%. Aplicando a Equação 7, a energia gerada pelo arranjo dos painéis fotovoltaicos necessária para alimentar a bomba é de 3,90 kWhp. O número de painéis fotovoltaicos é determinado com a divisão da energia gerada pelo arranjo dos painéis pela energia gerada por um único painel. Desta forma, são especificados 4 painéis de 250 Wp para atender plenamente o sistema de bombeamento.

5. Considerações finais

O presente estudo de pesquisa trata-se da melhoria do uso dos recursos hídricos de uma região do semiárido do nordeste, com problemas de escassez de água e longos períodos de estiagem. Nessa localidade onde se encontra o *campus*, as áreas verdes irrigadas demandam grande quantidade de água, e a energia elétrica usada no processo onera a planilha de custos. Uma proposta de aproveitamento da água das chuvas para fins não potáveis, destinada à irrigação e bombeamento utilizando painéis fotovoltaicos é apresentada.

O método *Rippl* determina um total de 5 cisternas de 16 m³ para a irrigação nos meses de estiagem, considerando uma demanda média constante de 18 m³/mês. A bomba de 1 CV dimensionada é capaz de fazer a recarga completa e diária das caixas d'água do sistema (total de 15 m³), com uma vazão de descarga de 3 m³/h durante 5 h/dia. O arranjo dos painéis fotovoltaicos para atender o sistema é constituído por 4 painéis de 250 Wp em paralelo, com corrente de 4,90 A e tensão de 36 V. Um inversor (CC/CA) de 1 kW é usado para alimentar a bomba em Corrente Alternada (CA). O número de horas de sol pleno calculado é de 4,86 h que proporciona uma potência diária por painel de 1,22 kWhp. Logo, o total máximo de energia gerada pelo arranjo é de 4,88 kWhp/dia, que supri, suficientemente, a necessidade diária da bomba. A implantação do sistema pode representar uma economia de energia de 120,15 kWh/mês e um potencial de redução da água do poço de, aproximadamente, 80m³, nos 4 meses do ano de baixa precipitação.

Por fim, a pesquisa demonstra que o aproveitamento da água das chuvas para irrigação com bomba alimentada por painéis fotovoltaicos, possibilita a minimização dos impactos ambientais causados pelo uso intensivo do poço, igualmente, contribui na redução do consumo de energia elétrica do *campus*. Para uma região do semiárido do nordeste, que experimenta períodos longos de estiagem, a busca de estratégias para soluções do problema da escassez de água, por meio do aproveitamento da água das chuvas, pode contribuir, em parte, na sustentabilidade do *campus*.

Referências

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEER - ASCE. *Design and Construction of Urban Stormwater Management Systems*, 1992, 753 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. *Capacidade de Geração do Brasil*. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil>. Acesso em: Agosto de 2015.

BONKOUNGOU, D.; KOALAGA, Z.; NJOMO, D. *Modelling and Simulation of photovoltaic module considering single-diode equivalent circuit model in MATLAB*. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, v. 3, n. 3, 2013.

COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DO CEARÁ - CAGECE. *Índice de abastecimento público.* Fortaleza: CAGECE, 2012.

COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS - COGERH. *Vamos conhecer o Salgado.* Cartilha técnica. Crato, 2007.

DORNELLES, F.; TASSI, R.; GOLDENFUM, J.A. *Avaliação das técnicas de dimensionamento de reservatórios para aproveitamento de água de chuva.* Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 15, n. 2, p. 59-68, 2010.

ESKANDER, M.N.; ZAKI, A.M. A maximum efficiency-photovoltaic-induction motor pump system. Renewable Energy, v. 10, n. 1, p. 53-60, 1997.

EUROPEAN PHOTOVOLTAIC INDUSTRY ASSOCIATION - EPIA. *Solar Photovoltaics Competing in the Energy Sector - On the Road to Competitiveness.* Bruxelas (Bélgica): EPIA, 2011. Disponível em: <http://www.epia.org>. Acesso em: Dezembro de 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. *Estimativas populacionais para os municípios brasileiros para 2013.* <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em fevereiro de 2015.

JOWITT, P. W; XU, C. *Demand Forecasting for Water Distribution Systems.* Civil Engineering Sys., v. 9, p. 105-121, 1992.

KOLLING, E.M.; SOUZA, S.N.M. de; RICIERI, R.P.; SAMPAIO, S.C.; DALLACORT, R. *Análise operacional de um sistema fotovoltaico de bombeamento.* Engenharia Agrícola, v. 24, n. 3, 2004, 527 p.

KORDZADEH, A. *The effects of nominal power of array and system head on the operation of photovoltaic water pumping set with array surface covered by a film of water.* Renewable Energy, v. 35, n. 5, p. 1098-1102, 2010.

MAY, S. *Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações.* 2004. 189f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MICHELS, Roger N; RICIERI, Reinaldo P; GNOATTO, Estor; SOUSA, Samuel N. M. de; SILVA, Suedêmio de Lima; FISCHBORN, Marcos. *Avaliação do bombeamento de água em um sistema alimentado por painéis fotovoltaicos.* Engenharia Agrícola, v. 29, n. 3, 2009, 370 p.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION - NASA. *Surface meteorology and Solar Energy.* <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/RETScreen/>. Acessado em: 1/05/2015.

OLIVEIRA, L.H. *Metodologia para Implantação de Programa de Uso Racional da Água em Edifícios.* Tese (Doutorado). Curso de Pós- Graduação Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PETERS, M.R. *Potencialidade de uso de fontes alternativas de água para fins não potáveis em uma unidade residencial.* Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006. Disponível em: <http://www.tede.ufsc.br/teses/PGEA0263.pdf>. Acessado em: Fevereiro de 2014.

ROMEIRO, A.R.; REYDON, B.P.; LEONARDI, M.L. A. (org.). *Economia do meio ambiente: teoria, políticas e a gestão de espaços regionais.* Campinas: UNICAMP. IE, 2001, 377 p.

SANKS, R.L. *Pumping stations-design and construction.* 2ª ed. New York: Butterworth-Heinemann, 1998.

SCHNEIDER. *Tabela para seleção de bombas e motobombas.* Catálogo do fabricante. 2015

TIBA, C. *Atlas Solarimétrico do Brasil: Banco de dados terrestres.* Recife: Editora Universitária da UFPE, 2001.

TOMAZ, P. *Aproveitamento de água de chuva: para áreas urbanas e fins não potáveis.* 2. ed. São Paulo: Navegar, 2005, 180 p.

VILLALVA, M.G. *Conversor Eletrônico de Potência Trifásico para Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica.* Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Tese de Doutorado, Campinas, 2010.

WALKER, G.R. *Evaluating MPPT topologies using a Matlab PV model.* Journal of Electrical & Electronics Engineering, v. 21, n. 1, p. 49-56, 2001.

WHEELRIGHT, S.C; MAKRIDAKIS, S; MCGEE, V.E. *Forecasting: Methods and Applications.* 2ª ed. New York: John Wiley & Sons, 1993.