

ÁGUA LIMPA SOLAR: DESINFECÇÃO ULTRAVIOLETA DE ÁGUA PARA CONSUMO ATRAVÉS DE SISTEMA DE BAIXO CUSTO UTILIZANDO ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.

Lucas Rafael do Nascimento – nascimento@emc.ufsc.br

Mauricio Vivan Guarnieri – mvguarnieri@gmail.com

Ricardo Rüther – ruther@mbox1.ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil

Jair Urbanetz Junior – urbanetz@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Eletrotécnica

Resumo. Este artigo apresenta os resultados experimentais obtidos em um sistema de desinfecção ultravioleta de água de fácil concepção, com materiais acessíveis e de baixo custo, utilizando lâmpada ultravioleta germicida alimentada por energia solar fotovoltaica. Os ensaios realizados permitiram confirmar o modelo matemático de determinação da vazão máxima versus dose de radiação necessária para a inativação dos microorganismos responsáveis pela contaminação da água. Usando-se como indicador da qualidade da água a bactéria *E. coli*, atingiu-se em todos os protótipos implementados, eficiência de desinfecção superior a 99%, desde que certos padrões de turbidez e vazão sejam respeitados. O sistema fotovoltaico foi concebido de forma a otimizar o fluxo direto de energia, minimizando-se as perdas no acumulador. Esta estratégia além de aumentar a vida da bateria, também diminuiu sensivelmente o coeficiente de perdas do sistema levando a um dimensionamento de módulos fotovoltaicos e baterias de menor capacidade.

Palavras-chave: Desinfecção de água; Desinfecção Ultravioleta; Energia Solar Fotovoltaica.

1. INTRODUÇÃO

Grande parte da população do Brasil não é atendida pelo sistema de distribuição de água, tendo como alternativa, nascentes, córregos, poços, água da chuva, dentre outras. A água proveniente dessas fontes, mesmo apresentando características aparentemente dentro dos padrões aceitáveis, deve passar no mínimo por um processo de desinfecção para que possa ser consumida (Brasil, 2006). Tecnicamente, aplica-se a simples desinfecção como meio de tratamento para águas que apresentam boas características físicas e químicas. É o caso das águas de vertentes ou nascentes, águas de fontes ou de poços protegidos, que se encontrem enquadradas na classe Especial da Resolução Conama Nº 20 de 18/06/1986 (Brasil, 2006).

A desinfecção ultravioleta (UV) é uma tecnologia que vem sendo utilizada desde a década de 1950, com segurança, confiabilidade e competitividade. Nas últimas décadas foram realizadas muitas pesquisas sobre a resistência de vários microrganismos patogênicos à radiação UV no comprimento de onda de 253,7 nanômetros (nm) (pico das lâmpadas de vapor de mercúrio de baixa pressão). Este comprimento de onda é danoso aos microrganismos, agindo em seu DNA, matando-os ou inviabilizando sua reprodução. Referentes a essa tecnologia, três documentos técnicos já foram internacionalmente desenvolvidos pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA), a Associação Alemã de Gás e Água e o Instituto de Padrões da Áustria (Sommer, 2008).

A geração de eletricidade a partir do sol pode ser feita no local onde será consumida, evitando os altos custos de transmissão e distribuição da energia gerada. A distribuição geográfica de cidades e vilas sem água potável e normalmente sem eletricidade faz do uso da conversão solar fotovoltaica uma opção apropriada para sistemas de desinfecção UV, pois são confiáveis, têm vida útil superior a trinta anos e sua fonte de energia é abundante ao redor do globo (Rüther, 2004).

Neste estudo pretende-se analisar a eficiência de um protótipo de desinfecção de água para fins de consumo humano por meio de radiação UV. O sistema germicida é de fácil concepção, com materiais acessíveis e de baixo custo. Foi avaliada a influência da qualidade da água bruta e da potência das lâmpadas, dentre outros fatores, para o estabelecimento da eficiência do sistema. Foram utilizados modelos teóricos e testes bacteriológicos para estas verificações.

1.1 Justificativa

É estimado que o acesso a água limpa possa prevenir milhões de mortes por ano, atribuídos a subnutrição entre outras doenças carregadas por patógenos de veiculação hídrica. A qualidade da água potável é um determinante ambiental poderoso da saúde. A garantia de uma água potável segura é fundamental para prevenir e controlar as doenças transmitidas pela água (OMS, 2011).

As novas tendências internacionais de regulamentação dos padrões de potabilidade indicam uma preocupação crescente com novos contaminantes orgânicos e inorgânicos, bem como com a introdução de vários subprodutos do próprio processo de tratamento. Nesse particular, objetiva-se controlar, em especial, os subprodutos introduzidos pelos processos de desinfecção, principalmente o cloro. A formação de subprodutos em consequência do uso do cloro, por exemplo, pode tornar a radiação ultravioleta uma opção mais visada para uma prática desinfecção em demandas urbanas ou rurais, pois este método não resulta em subprodutos (Daniel *et al* 2001).

Mais de 80% das pessoas sem energia elétrica vivem no meio rural. Nesses locais normalmente não se tem acesso a nenhuma tipo de serviço social básico, nem de energia elétrica. A despeito dos notáveis esforços envidados no Programa Luz para Todos do governo federal, ainda existem milhares de brasileiros sem acesso aos serviços de energia elétrica.

Na ausência de tratamento público de água, muitas pessoas no interior do Brasil, moradores de regiões remotas, utilizam água dos rios próximos e na melhor das hipóteses de nascentes ou da chuva. A utilização de um sistema de desinfecção ultravioleta de água utilizando energia solar fotovoltaica pode suprir estas demandas, atendendo uma ou mais famílias nestas localidades.

2. DESINFECÇÃO POR RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA

A radiação ultravioleta faz parte do espectro eletromagnético com comprimentos de onda entre 100 e 400 nm. Abrange as faixas: UV-A, UV-B e UV-C. Radiação Ultravioleta Germicida é a radiação normalmente gerada por lâmpadas com pico de emissão no comprimento de onda de 253,7 nm (UV-C) com ação germicida. Matam ou neutralizam bactérias, vírus e outros organismos primitivos (Wladyslaw, 2009). A radiação ultravioleta, ao contrário de outros desinfetantes que têm ação química, atua por meio físico, atingindo principalmente os ácidos nucleicos dos microorganismos, promovendo reações fotoquímicas que inativam os vírus e as bactérias (Daniel et al, 2001).

A absorção máxima de radiação ultravioleta pelo indicador *E. coli* ocorre em 260 nm, e o comprimento de onda de 254 nm é relativo à emissão máxima de lâmpadas de baixa pressão de vapor de mercúrio, como é possível verificar na Figura 1. O intervalo de comprimento de onda compreendido entre 245 e 285 nm é considerado a faixa germicida ótima para a inativação de microorganismos. A grande maioria das lâmpadas utilizadas é de vapor de mercúrio ionizado, de baixa e média pressão (por exemplo, tubular, tipo lâmpadas fluorescentes) e com diversos valores de potência (Bolton, 1999).

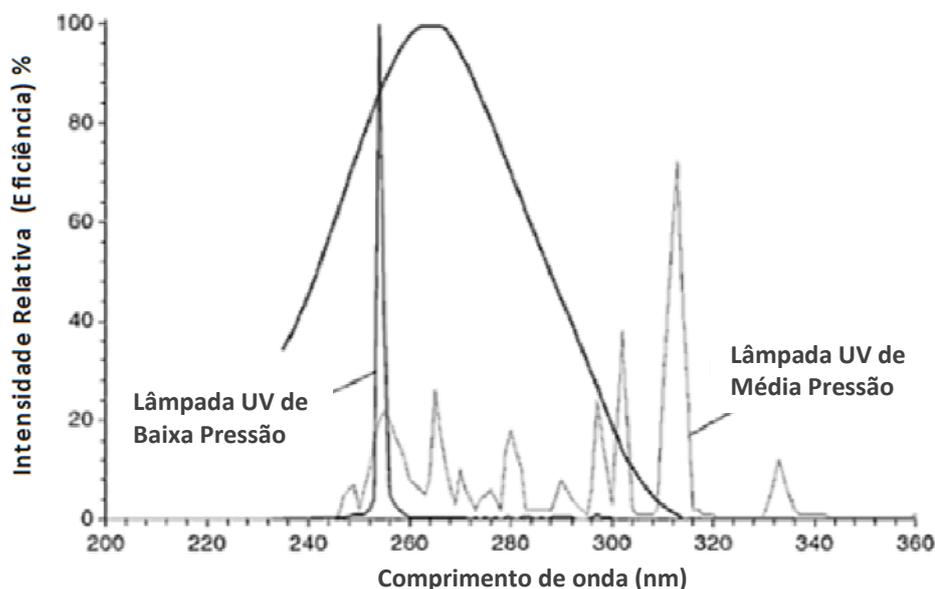


Figura 1 - Intensidade luminosa sobre o espectro para lâmpadas fluorescentes de diferentes pressões. Fonte: (Kowalski, 2009)

A medida prática padrão utilizada no acompanhamento do processo é a chamada dose de radiação (Fig. 2). A dose é obtida integrando o tempo de exposição de uma área definida pela intensidade útil de potência germicida que chega à porção da água. A Agência Estadunidense de Proteção ao Meio Ambiente (EPA) considera 50 mWs/cm² a dose mínima aceitável para tratamento UV. Em setembro de 2000 a Fundação Nacional Sanitária, também norte americana, estabeleceu como dose mínima 38 mWs/cm² (Cohn, 2002).

A transmissão da radiação UV pode ser afetada por vários constituintes de qualidade da água, tanto dissolvidos como suspensos. Estes componentes podem absorver e/ou dispersar a radiação UV ou proteger microorganismos da exposição letal UV.

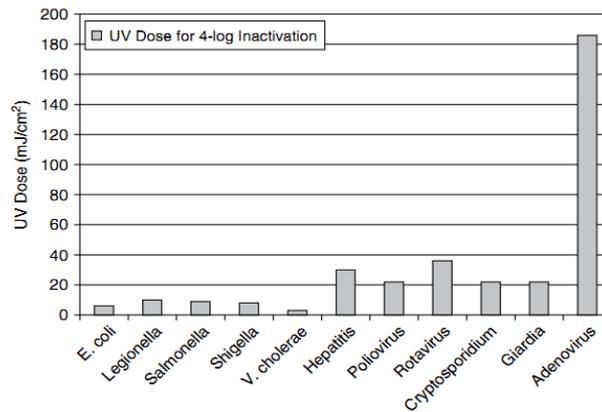


Figura 2 - Dose UV para redução da carga infectante em 4 logs de diversos agentes patogênicos.
Fonte: Hijnen *et al.*, 2006.

A medição precisa da dose de UV, tanto na escala de bancada ou em sistemas em escala de campo é essencial para o desenvolvimento de dados reprodutíveis quanto à dose UV *versus* resposta de microrganismos e a degradação dos contaminantes. Como a radiação UV não pode ser vista ou capturada para medição fora do local, métodos especiais foram desenvolvidos para esse fim. Muitas técnicas têm sido desenvolvidas para medir a irradiância UV ou fluência UV, incluindo métodos físicos, químicos e biológicos (Linden, 2011).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

As etapas metodológicas utilizadas neste trabalho estão apresentadas na sequência. Os métodos utilizados baseiam-se nos estudos desenvolvidos na Universidade de Berkeley na Califórnia (Cohn, 2002). Os materiais utilizados podem ser resumidos aos indicados na Fig. 3.

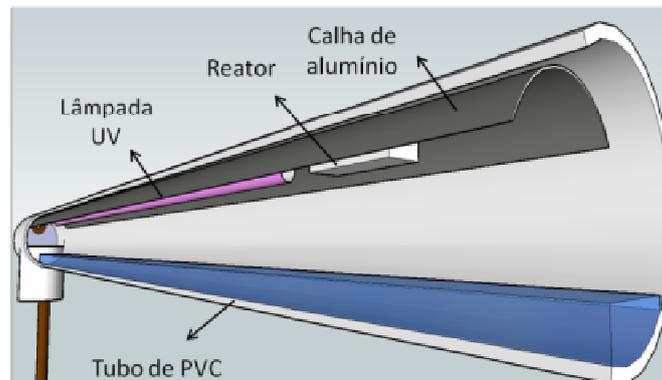


Figura 3 - Perfil do tubo e variáveis geométricas interferentes na dose de radiação.

A metodologia de avaliação do sistema seguiu as seguintes etapas:

ETAPA 1: Estudo das variáveis interferentes no processo e desenvolvimento de um modelo matemático para cálculo teórico. Buscou-se assim investigar os valores de dose transmitida ao volume de água e taxa de desinfecção esperada. Analisaram-se as possíveis configurações físicas do sistema, interferência dos parâmetros de entrada e a expectativa de resultados, ditando faixas de operação a serem seguidas.

ETAPA 2: Em seguida, avaliou-se o desempenho do sistema de desinfecção através de ensaios bacteriológicos. Foram feitas as devidas variações dos parâmetros de entrada principalmente de qualidade de água e tempo de detenção para se chegar a faixas de operação e eficiência.

ETAPA 3: Finalmente, na terceira etapa, analisou-se o potencial necessário de instalação fotovoltaica e configuração elétrica para atender a demanda energética do sistema de desinfecção visando sua autonomia em regiões não atendidas pela rede elétrica.

3.1 Modelo matemático de desinfecção

O modelo matemático é fundamentado na velocidade de escoamento em canais e na radiação que atinge a lâmina d'água. Dessa forma o modelo permite a verificação da dose de radiação UV transmitida para a água, a qual é calculada através da integração do tempo de percurso (tempo de exposição da água à radiação) com a intensidade por unidade de

área (irradiância) que atinge a lâmina d'água. Foram adotados parâmetros de entrada interferentes no processo para identificar de forma teórica mudanças na dose para essas variações.

No modelo teórico a dose de 40 mWs/cm², valor próximo ao adotado pela Fundação Nacional Sanitária norte americana (38 mWs/cm²), foi estabelecida como mínimo a ser alcançado. Para demonstrar as vazões limites de funcionamento para diferentes hipóteses de interferência da qualidade da água além do modelo matemático é necessária a realização de testes práticos utilizando-se águas com parâmetros de interesse controlados.

A carga contaminante foi obtida através de amostras de esgoto doméstico coletado em uma caixa de passagem do mesmo prédio onde foram realizados os experimentos. Para simular diferentes coeficientes de absorção foi realizada a adição de concentrações controladas de bentonita às amostras. A água utilizada teve origem na rede pública de abastecimento. Após a identificação das faixas de vazão de interesse, foram realizados testes com fluxo de 5 e 10 litros por minuto.

Os procedimentos analíticos dos ensaios microbiológicos seguiram a metodologia *Colilert Quanti-Tray 18*. Foram realizados ensaios físico-químicos para uma avaliação da condição geral da água utilizada nos experimentos que seguiram os métodos conforme *Standard Methods for Water and Wastewater*, 21TH edição de 2005.

4. RESULTADOS

4.1 Resultados Teóricos.

A seguir na Tab. 1 são apresentadas as variáveis utilizadas no modelo matemático confeccionado para o cálculo da dose teórica transmitida no sistema de desinfecção. As variáveis são divididas em Elétricas: potência e rendimento da lâmpada; Geométricas: diâmetro da lâmpada e do tubo de PVC, distâncias entre a fonte de emissão de radiação e a água, área da superfície da água a receber a radiação; Físicas: perda de reflexão do alumínio (componente do refletor dentro do tubo de PVC), coeficiente de absorção (resultado da qualidade da água utilizada no processo).

Tabela 1 - Variáveis presentes no modelo teórico e valores utilizados.

Variáveis do Modelo	Valores
1. Potência da lâmpada	8, 15, 30 W
2. Comprimento da lâmpada	30, 45, 90 cm
3. Coeficiente de Absorção da água (α')	0,2 – 0,9
4. Vazão de entrada	1 -10 l/min.
5. Distância da lâmpada para a superfície da água (L)	Variável
6. Largura da superfície da água (2 L)	Variável
7. Diâmetro do tubo de PVC (2 r)	100
8. Eficiência lâmpada e de seu reator eletrônico (h)	0,3
9. Perda determinada pela refletância do alumínio (α)	0,4
10. Diâmetro da lâmpada germicida (Si)	18 mm
11. Distância da lâmpada para o tubo de PVC (d)	15 mm

Com o objetivo de melhor apresentar os resultados e facilitar a análise dos valores e curvas encontradas, a variável que representa a qualidade da água (coeficiente de absorção) foi estabelecida em dois valores. O primeiro, 0,3 cm⁻¹, representa uma água já fora dos padrões, porém de melhor qualidade, se comparada ao segundo tipo simulado, com coeficiente de absorção de 0,8 cm⁻¹, representando águas com carga orgânica mais significativa e respectiva atenuação da radiação mais acentuada.

Vale destacar a importância da análise das diferentes potências das lâmpadas germicidas, que além de terem papel fundamental na intensidade de radiação, refletem o tempo de detenção que é diretamente ligado ao comprimento da lâmpada e seu alcance longitudinal. Acrescenta-se o fato da potência também refletir diretamente no gasto energético do sistema de desinfecção.

Na Fig. 4 são mostrados os resultados do modelo matemático para o reator com potência de 30 W; em vermelho identifica-se a linha de 40mJ/cm². Para esta configuração optou-se por apresentar os valores das doses alcançadas em duas diferentes alturas de lâmina d'água (2 e 4 cm). Os valores do coeficiente de absorção para os dois tipos de água foram mantidos em 0,3 e 0,8 cm⁻¹.

Com essa abordagem foi possível verificar de forma mais clara a atenuação da radiação UV a partir do coeficiente de absorção. Nota-se que em uma água com potencial de atenuação pequeno, água A em azul, com coeficiente de absorção de 0,3, a diferença de dose na cota de 2 e 4 cm é menor. Observando o efeito ocorrido na água com poder de atenuação mais acentuado comprova-se que seu efeito é importante e deve ser considerado.

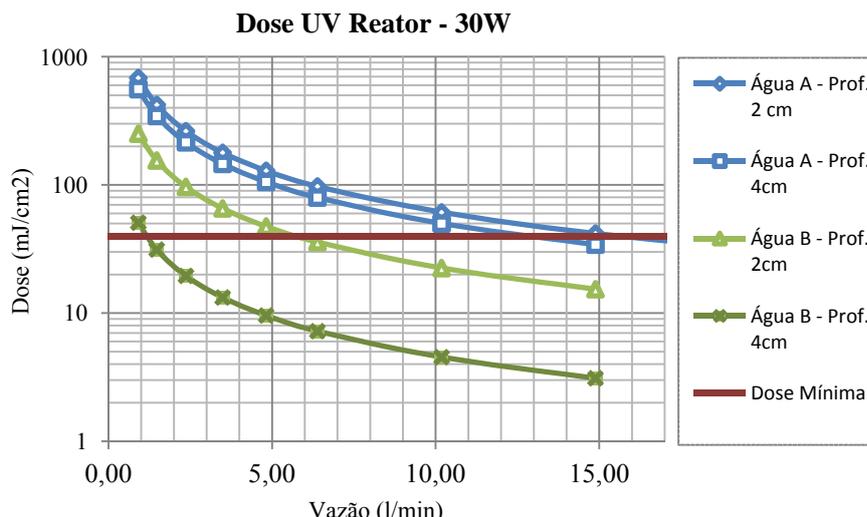


Figura 4 - Dose transmitida em função da vazão e coeficiente de absorção utilizando lâmpada de 30W.

Na Fig. 5 é exposta uma ilustração que resume os resultados da variação da potência das lâmpadas e respectiva vazão de água desinfetada.

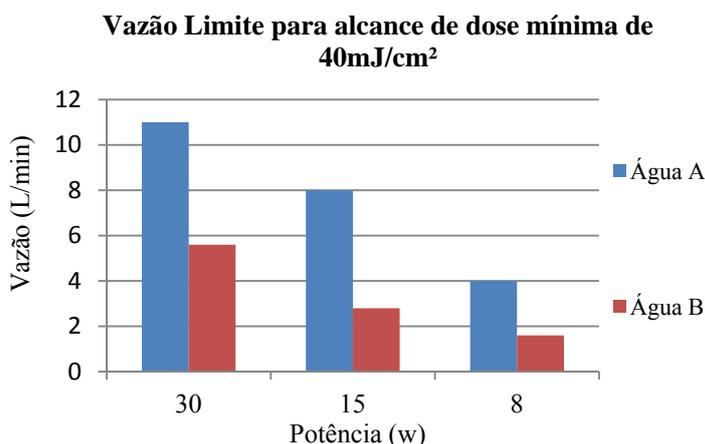


Figura 4 - Vazões limites para alcance da dose mínima de 40mJ/cm² no sistema de desinfecção a profundidade de 2cm.

4.2. Resultados experimentais para caracterizar o desempenho do sistema de desinfecção

De setembro a novembro de 2011, 6 experimentos foram realizados, contabilizando 18 amostras coletadas. Manteve-se a opção de verificar o desempenho em condições desfavoráveis para que indiretamente amostras com parâmetros menos acentuados fossem atestadas. Buscou-se elucidar experimentalmente a influência dos principais parâmetros interferentes. Manteve-se as vazões de 5 e 10 L/min com turbidez entre 30 e 45 com carga contaminante e coeficiente de absorção aumentada. Os resultados são mostrados na Tab. 2.

Através destes ensaios foi possível provar que uma água com contaminação relativamente alta, normalmente encontrada em rios $3 \times 10^3 - 10^4$ NMP/100 ml pode ser desinfetada através do sistema de desinfecção apresentado. Verificou-se que a turbidez deve ser moderada, pois quando combinada com alta contaminação não permite um ideal efeito germicida.

Fazendo uso das águas mais claras referentes ao ensaio realizado no dia 13/09/2011, buscou-se relacioná-lo com os valores calculados no modelo teórico. O gráfico representado na Fig. 6 foi gerado através do modelo matemático e ilustra o comportamento teórico da dose transmitida a uma água com $0,9 \text{ cm}^{-1}$ de coeficiente de absorção, mesmo valor encontrado no teste prático citado anteriormente. Estes valores teóricos expressam a dose transmitida na altura média de água (2 cm), situação que mais se aproxima de uma situação real.

Analisando o gráfico verifica-se que a dose teoricamente transmitida entre 5 e 10 litros por minuto é de 37 a 20 mWs/cm². Feita a comparação com a dose UV resposta para E. coli (Cohn, 2002) que ilustra que com cerca de 25 mWs/cm² atinge-se uma redução de 4 logs de E. coli. é possível avaliar se a dose teoricamente transmitida e consequente taxa de desinfecção coincide com os valores obtidos no ensaio bacteriológico. No ensaio do dia 13/09/2011

a redução foi a mesma para a vazão de 10 L/min que teoricamente teve dose entregue de 20 mWs/cm². Confirma-se através destas informações que o modelo produzido revela uma boa proximidade de valores se comparado com a situação real.

Tabela 2 - Resumo dos resultados de ensaios bacteriológicos. Eficiência em porcentagem de remoção.

Data	Turbidez NTU	Cor (PtCo)	Abs. calc.	Coef.Abs cm-1	Vazão l/min	Coliformes Totais			E.coli		
						Entrada NMP/100ml	Saida NMP/100ml	Eficiência %	Entrada NMP/100ml	Saida NMP/100ml	Eficiência %
13/09/2011	31	85	0,39	0,9	5	>24192	< 1	100%	15533	< 1	100%
13/09/2011	31	85	0,39	0,9	5	>24193	< 1	100%	15533	< 1	100%
13/09/2011	31	85	0,39	0,9	5	>24194	< 1	100%	15533	< 1	100%
13/09/2011	31	85	0,39	0,9	10	>24195	< 1	100%	15533	< 1	100%
13/09/2011	31	85	0,39	0,9	10	>24196	< 1	100%	15533	< 1	100%
13/09/2011	31	85	0,39	0,9	10	>24197	< 1	100%	15533	< 1	100%
25/10/2011	45	320	0,69	1,6	5	141360	>2419	-	20000	< 1	100%
25/10/2011	45	320	0,69	1,6	5	141360	>2420	-	20000	< 1	100%
25/10/2011	45	320	0,69	1,6	5	141360	>2421	-	20000	1	99,99%
25/10/2011	40	250	0,47	1,1	10	155310	>2422	-	3350	< 1	100,00%
25/10/2011	40	250	0,47	1,1	10	155310	>2423	-	3350	< 1	100,00%
25/10/2011	40	250	0,47	1,1	10	155310	>2424	-	3350	6	99,82%
02/11/2011	30	132	0,26	0,6	5	>241940	>24194	-	198630	96	99,95%
02/11/2011	30	132	0,26	0,6	5	>241940	>24194	-	198630	272	99,86%
02/11/2011	30	132	0,26	0,6	5	>241941	>24195	-	198630	151	99,92%
02/11/2011	30	132	0,26	0,6	10	>241942	>24196	-	198630	112	99,94%
02/11/2011	30	132	0,26	0,6	10	>241943	>24197	-	198630	185	99,91%
02/11/2011	30	132	0,26	0,6	10	>241944	>24198	-	198630	178	99,91%

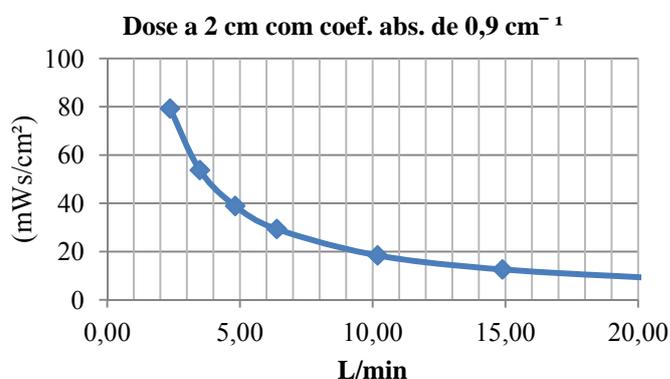


Figura 5 - Comportamento teórico da dose transmitida a uma água com 0,9 de coeficiente de absorção na profundidade média em função da vazão.

4.3 Sistema fotovoltaico

A principal carga consumidora do sistema de desinfecção é a lâmpada germicida. Fazem parte também dos consumidores de energia elétrica deste sistema o reator e componentes de controle como eletroválvula e controle eletrônico. A Tab. 3 mostra o consumo de energia esperado para o sistema de desinfecção.

O sistema foi dimensionado para operar somente durante o dia, pois os volumes de água desinfetados neste período já atendem as demandas das residências foco do projeto. Desta maneira as densidades de descarga das baterias, são bastante conservativas, estendendo a vida útil do acumulador. Como se pode observar na Fig. 7, o sistema conta com um sensor de luminosidade (*e.g.* foto relé), que desconecta as cargas quando a irradiação é muito baixa (período entre por do sol e nascer do sol). Devido ao sistema somente ser acionado em períodos em que o sol está presente, o caminho que a corrente elétrica percorre na maior parte do tempo é o simbolizado pela cor azul da Fig. 7. Esta estratégia, aliada ao uso de um controlador de carga com buscador de máxima potência, além de aumentar a vida útil da

bateria, também diminui sensivelmente o coeficiente de perdas do sistema levando a um dimensionamento de módulos fotovoltaicos e baterias de menor capacidade.

Tabela 3 - Consumo de energia esperado no sistema

CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA ESPERADO				
Item	Cargas	Potência [W]	Tempo de uso [h]	Consumo [Wh]
1	Lâmpada	30	12	360
2	Eletroválvula	5	12	60
3	Reator	5	12	60
4	Controle Eletrônico	1	12	12
				492Wh

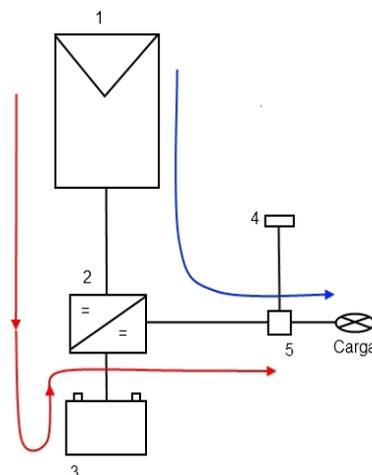


Figura 6 - Diagrama do sistema fotovoltaico. No desenho (1)Painel fotovoltaico, (2)Controlador de carga, (3)Bateria, (4)Sensor de luminosidade, (5)Controle eletrônico.

O sistema fotovoltaico dimensionado possui as seguintes características:

Energia Consumida = 492 Wh

Irradiação diária média Florianópolis Inverno [G_{POA}] = 3,2 kWh/m².dia

Capacidade do banco de baterias = 150Ah

Potência do painel fotovoltaico ~ 250Wp

Coefficiente de desempenho [η] ~ 70%

5. CONCLUSÕES

O sistema estudado, baseado na aplicação de radiação UV, apresentou boa eficiência na inativação de E. coli. Considerando a utilização de uma vazão constante de 5 L/min operando 12 horas por dia, é possível fazer a desinfecção de 3.600 litros neste período, um volume relevante, através de uma solução de instalação relativamente rápida.

O modelo matemático desenvolvido contribuiu de forma adequada para a tomada de decisão referente às faixas de vazão utilizadas nos testes práticos bacteriológicos. Foi também um importante instrumento para compreender o comportamento da dose entregue, reflexo dos respectivos parâmetros de entrada interferentes no processo.

Em termos de interdependência entre variáveis, cabe observar que se pretendeu neste estudo constituir uma relação entre os resultados de inativação e a variação dos parâmetros de qualidade e essa correspondência mostrou-se evidente, porém não estável. Ao se estabelecer um sistema de desinfecção UV, fica evidente a necessidade de se atuar de forma abrangente a caracterização físico-química e microbiológica da água. A relação dos sólidos no processo não foi avaliada de forma mais aprofundada, mas foi possível verificar indiretamente sua relação com a eficiência e segurança do reator. É possível admitir que a presença de sólidos é capaz de proteger os microrganismos da ação do desinfetante.

Os resultados obtidos sustentam a boa perspectiva de emprego de sistemas de desinfecção baseados na aplicação da radiação UV como agente desinfetante, mesmo aplicados em águas com cor e turbidez moderadas. Teve-se remoção total de E. coli com 4 log de redução para as vazões trabalhadas com condições de qualidade reduzidas indicando potencial de segurança para águas mais limpas (eg. poços artesianos) alvo de uma futura implementação do protótipo.

O sistema fotovoltaico dimensionado pode ser facilmente replicado e os componentes comprados no Brasil. A integração fotovoltaica representa uma adequada alternativa para essa solução de desinfecção principalmente em

comunidades isoladas. A estratégia de otimizar o fluxo de energia direto, aliado ao uso de um controlador de carga com buscador de máxima potência, além de aumentar a vida útil da bateria, mostrou boa redução do coeficiente de perdas do sistema levando a um dimensionamento de módulos fotovoltaicos e baterias de menor capacidade.

Embora os resultados dos ensaios bacteriológicos não sejam capazes de precisar a dose fornecida, eles mostraram um consistente desempenho. O sistema de desinfecção antes de ser utilizado na prática deve passar por certificações e medições específicas de dose para que se confirme sua segurança.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio financeiro concedido através do projeto 576753/2008-4.

REFERÊNCIAS

- Bolton, J. R., 1999. Light compendium: ultraviolet principles and applications. EPA – Newsletter, n66, p 9-37.
- Brasil, 2006. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano/ Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. Ministério da Saúde, 212 p. (Série B. Textos Básicos de Saúde), Brasília.
- Cohn, A., 2002. The UV-Tube as an Appropriate Water Disinfection Technology: An Assessment of Technical Performance and Potential for Dissemination. Dissertação de Mestrado, University Of California, Berkeley.
- Daniel, L. A. et al. (Org.), 2001. Processos de Desinfecção e Desinfetantes Alternativos na Produção de Água Potável. São Carlos: 2001. 149 p. (Publicação do Programa em Saneamento Básico (PROSAB) INSTITUIÇÕES PARTICIPANTES EESC-USP, UFRGS, UnB, Unicamp, UFMG).
- EPA (1999). Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual, United States Environmental Protection Agency, Office of Water: 346.
- Hijnen, W. A. M., Beerendonk, E. F. and Medema, G. J., 2006. Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo)cysts in water: A review. Water Research
- Kowalski, W., 2009. Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook. Heidelberg and Berlin, Springer.
- Linden, K. G., Rosenfeldt, E. J., 2011. Ultraviolet Light Processes. In: AMERICAN WATER WORK ASSOCIATION. Water Quality & Treatment: A handbook on drinking water. 6^aedition. Mc Graw Hill, Cap. 18, p. 1-36. Denver.
- OMS, Drinking-water quality. Disponível em: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/en/. Acesso em 20/06/2011.
- Rüther, R., 2004. Edifícios Solares Fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil. Editora UFSC/LABSOLAR, Florianópolis.
- Sommer, R., 2008. Disinfection of Drinking Water by UV Irradiation: Basic Principles - Specific Requirements - International Implementations. Ozone: Science And Engineering, Vienna, p. 43-48.
- Wladyslaw, K., 2009. Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook, Springer Verlag, Berlin.

SOLAR CLEAN WATER: ULTRAVIOLET DISINFECTION FOR WATER CONSUMPTION USING LOW COST SYSTEM FEED BY PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY

Abstract. *This paper presents experimental results obtained in a ultraviolet water disinfection system using a simple design, with accessible and low cost materials, using ultraviolet germicidal lamp powered by photovoltaics. The test results obtained confirm the mathematical model to obtain the maximum flow versus radiation dose needed to inactivate the microorganisms responsible for water contamination. Using the bacterium E. coli as an indicator of the quality of water, water disinfection efficiencies better than 99% were obtained. The photovoltaic system was designed to optimize the direct flow of energy, minimizing losses in the battery. This strategy, while increasing battery life, also significantly decreased the system losses and overall PV generator costs.*

Key words: Water disinfection; Ultraviolet Disinfection; Photovoltaic Solar Energy.