

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL ELÉTRICA – ÊNFASE ELETROTÉCNICA

FERNANDO AUGUSTO ARANTES
FERNANDO CROMACK LIPPMANN

**DESINFECÇÃO DE ÁGUA POR LÂMPADAS ULTRAVIOLETA A PARTIR DE
ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA SEM UTILIZAÇÃO DE BATERIAS**

CURITIBA

2011

FERNANDO AUGUSTO ARANTES
FERNANDO CROMACK LIPPMANN

**DESINFECÇÃO DE ÁGUA POR LÂMPADAS ULTRAVIOLETA A PARTIR DE
ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA SEM UTILIZAÇÃO DE BATERIAS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Industrial Elétrica Ênfase em Eletrotécnica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior.

CURITIBA

2011

AGRADECIMENTOS

Primeiramente às nossas famílias pelo apoio, incentivo, paciência, carinho e amor dedicados desde o início de nossas vidas.

Ao amigo e orientador, Jair Urbanetz Junior, pela sugestão do tema e pelo apoio durante todo o período em que estivemos engajados nesse projeto.

Aos professores membros da banca, por aceitarem nosso convite e pelas sugestões de aprimoramento do trabalho.

Aos colegas do Grupo de Pesquisa Estratégica em Energia Solar da Universidade Federal de Santa Catarina pelas informações e materiais fornecidos, bem como pela agradável recepção em sua universidade.

A todos os nossos amigos pelo companheirismo.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	8
1.1 TEMA.....	8
1.1.1 Delimitação do Tema.....	8
1.2 PROBLEMA E PREMISSAS	9
1.3 OBJETIVOS	9
1.3.1 Objetivo Geral	9
1.3.2 Objetivos Específicos	10
1.4 JUSTIFICATIVA	10
1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	11
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	12
2. IMPORTÂNCIA DA ÁGUA	13
2.1 DOENÇAS DEVIDO A ÁGUA CONTAMINADA.....	14
2.2 PADRÕES DE POTABILIDADE.....	15
2.3 PARÂMETROS DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO	16
2.4 MICROORGANISMOS INDICADORES DA QUALIDADE DA ÁGUA	20
2.4.1 Escherichia coli.....	22
2.5 DESINFECÇÃO DA ÁGUA.....	22
2.5.1 Agentes químicos	23
2.5.2 Agentes físicos.....	23
2.6 RADIAÇÕES ULTRAVIOLETAS (UV)	24
2.6.1 Dose de radiação UV	25
2.7 MECANISMOS DE INATIVAÇÃO	27
2.7.1 Limitações na utilização da radiação UV	28
2.8 APLICAÇÕES DA RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA	29
2.9 LÂMPADA ULTRAVIOLETA	30
2.9.1 Baixa Pressão (Monocromáticas).....	31
2.9.2 Lâmpada de baixa pressão de amálgama.....	32
2.9.3 Lâmpada de média pressão (policromática)	32
2.10 Modelos de Lâmpadas.....	33
3. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	35
3.1 HISTÓRIA.....	35
3.2 CÉLULA SOLAR E EFEITO FOTOVOLTAICO	37
3.3 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.....	47
3.4 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	49
3.4.1 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ISOLADOS	49
3.4.2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE	51
3.5 POTENCIAL ENERGÉTICO	52
4. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.....	55
4.1 MONTAGEM DA ESTRUTURA DE DESINFECÇÃO.....	56
4.2 REGULAÇÃO DE TENSÃO.....	62
4.3 ACIONAMENTO DA VÁLVULA E SENSOR UV	63
5. ANÁLISE DA ÁGUA E RESULTADOS OBTIDOS	66
6. CONCLUSÕES	69

7. REFERÊNCIAS	71
8. ANEXOS	82
8.1 LAUDO DE ANÁLISE DE ÁGUA	83
8.2 TABELA COLILERT	84
8.3 MANUAL PARA A MONTAGEM DO SISTEMA	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – <i>Escherichia coli</i> em microscópio.....	22
Figura 2 - Espectro eletromagnético.	24
Figura 3 – Ação da radiação ultravioleta em células bacterianas.	27
Figura 4 – Dimerização fotoquímica de duas timinas.	28
Figura 5 – Curvas de distribuição espectral de lâmpadas de baixa pressão.....	33
Figura 6 – Curvas de distribuição espectral de lâmpadas de maior pressão.....	33
Figura 7 – Lâmpada UV tubular de média pressão Philips	34
Figura 8 – Estrutura típica de célula solar fotovoltaica	38
Figura 9 – Ligação entre átomos de silício	39
Figura 10 – Ligação entre átomos de silício (lacuna e elétron livre).....	39
Figura 11 – Circuito de célula solar com carga resistiva	40
Figura 12 – Célula solar fotovoltaica sob irradiação solar	41
Figura 13 – Circuito equivalente da célula solar simplificado.....	42
Figura 14 – Circuito equivalente da célula solar com resistência série e paralelo.....	43
Figura 15 – Associação de células – representação em símbolos	48
Figura 16 – Associação de células cristalinas	48
Figura 17 – Características dos módulos <i>Kyocera</i>	49
Figura 18 – Médias anuais de irradiação global	53
Figura 19 – Sistema de desinfecção	56
Figura 20 – Estrutura montada	56
Figura 21 – Furação da calha para a fixação de abraçadeiras e reator	58
Figura 22 – Posicionamento dos furos da calha	58
Figura 23 – Calha de alumínio com reator e lâmpada	59
Figura 24 – Interior do tubo de PVC	59
Figura 25 – Passagem de fios pelo <i>cap</i>	60
Figura 26 – Te pronto para ser acoplado no tubo de PVC	61
Figura 27 – Lâmpada UV em funcionamento	61
Figura 28 – Esquema do circuito de regulação da tensão	62
Figura 29 – Circuito de regulação da tensão	63
Figura 30 – Circuito de acionamento da válvula	64
Figura 31 – Circuito de acionamento da válvula	65
Figura 32 – Válvula solenóide	65
Figura 33– Equipamento de regulação e proteção	66
Figura 34 – Kit Colilert.....	67

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Principais doenças devido à água contaminada	15
Tabela 2 – Subdivisão da radiação UV.....	24
Tabela 3 – Doses de radiação para inativação de 99% de microorganismos (mWs/cm ² em 254 nm).	26
Tabela 4 - Níveis máximos de contaminantes recomendados.....	29
Tabela 5 – Dados técnicos de lâmpadas UV tubulares Philips.....	34
Tabela 6 – Maiores instalações fotovoltaicas do mundo	37
Tabela 7 – Características elétricas de uma célula solar	45
Tabela 8 – Rendimento máximo de diferentes tipos de células	47
Tabela 9 – Resultado de desinfecção (laudo).....	68
Tabela 10 – Resultado de desinfecção (colilert).....	68

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Potências instaladas totais em diversas regiões	36
Gráfico 2 – Influência da irradiação na curva corrente versus tensão da célula solar	43
Gráfico 3 – Influência da variação da resistência série	44
Gráfico 4 – Influência da variação da resistência paralelo	45
Gráfico 5 – Ponto de máxima potência da célula solar	46
Gráfico 6 – Contribuição individual das células na curva do módulo	48
Gráfico 7 – Médias sazonais de irradiação global (inverno)	54
Gráfico 8 – Médias sazonais de irradiação global (verão)	54

1. INTRODUÇÃO

1.1 TEMA

1.1.1 Delimitação do Tema

Apesar de a água tratada ser um parâmetro fundamental para a caracterização de uma boa qualidade de vida, nem todos os seres humanos tem acesso a ela. Por dia no mundo morrem cerca de 4.900 crianças em decorrência de doenças causadas pela ingestão de água imprópria para consumo. Cerca de 2,4 bilhões de pessoas no mundo ainda não contam com serviços de saneamento básico (PNUD, 2006).

Embora o Brasil possua uma grande disponibilidade de recursos hídricos em rios, o uso incorreto, bem como a poluição desses rios prejudicam a obtenção de água própria para consumo. Ao consumir água contaminada, o ser humano pode ter sua saúde prejudicada e também pode contrair doenças, pois água não tratada serve de veículo direto e indireto para propagação de doenças (SAUNDERS & WARFORD, 1983).

Um método simples de desinfecção de água é a aplicação de luz ultravioleta (UV) diretamente nela. Esse método é utilizado geralmente no tratamento de água de indústrias de eletrônica, farmacêutica, em cervejarias, fábricas de açúcares líquidos, entre outras. Essa água também pode ser utilizada na piscicultura, na higienização de vegetais e em aquários, onde evita a proliferação de algas. Esse método não garante a total desinfecção da água, mas garante uma grande redução no número de bactérias. Dependendo da procedência da água, após a aplicação de radiação ultravioleta é possível obter água cujo consumo não é nocivo à saúde humana.

A história da luz UV começa com Isaac Newton, em 1672, quando foi publicada sua experiência sobre prismas. O resultado dessa experiência foi o reconhecimento da luz solar como composição de cores do vermelho ao violeta. A partir do início do século XVIII houve uma sequência de descobertas nessa área, sendo uma das mais importantes a experiência de Bownes e Blunt em 1877. O resultado dessa experiência foi a primeira constatação do efeito germicida da radiação solar, sendo também constatado que entre os

espectros de radiação, o mais eficaz na eliminação de microorganismos era o violeta (KOWALSKI, 2009).

Atualmente existem lâmpadas UV desenvolvidas especificamente para a aplicação em sistemas de desinfecção de água. O objeto desse trabalho é um sistema de desinfecção de água por meio de radiação UV alimentado por módulo solar fotovoltaico e que não necessite de baterias. A escolha da alimentação por meio de módulo fotovoltaico justifica-se na intenção de construir um sistema cujo impacto ambiental é mínimo.

1.2 PROBLEMA E PREMISSAS

Atualmente no Brasil milhões de pessoas ingerem água imprópria para consumo todos os dias. Como consequência, muitos brasileiros contraem doenças e tem sua saúde prejudicada.

O governo brasileiro atual não tem condições de construir instalações de tratamento de água em todas as cidades brasileiras e tampouco abastecer com água tratada todas as pequenas comunidades isoladas. O objetivo desse projeto surge da necessidade de providenciar um sistema de tratamento de água de simples instalação a essas pequenas comunidades isoladas sem gerar impactos ao meio ambiente.

No Brasil, aproximadamente 29 milhões de habitantes não têm acesso a água tratada, e quase 48 milhões não tem cobertura de saneamento básico. O índice de mortalidade infantil apresenta uma média de 40 óbitos a cada 1000 crianças. Em regiões de baixa renda, esse índice alcança valores ainda maiores segundo a OMS (Organização Mundial de Saúde).

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo principal do trabalho proposto é gerar um manual para a montagem de um sistema de desinfecção de água utilizando lâmpada ultravioleta, alimentado por energia proveniente de fonte fotovoltaica.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Montar um sistema de desinfecção de água utilizando uma lâmpada ultravioleta alimentado por um módulo fotovoltaico;
- Desenvolver um circuito de controle para o sistema de desinfecção;
- Determinar a necessidade diária de água para um ser humano;
- Avaliar a eficácia do sistema proposto quanto à desinfecção de água.

1.4 JUSTIFICATIVA

Segundo o Ministério da Saúde, aproximadamente 80% das doenças em seres humanos estão relacionadas à água contaminada, falta de conhecimento de higiene básica, do saneamento precário e dos mecanismos básicos das doenças. Os principais agentes patógenos encontrados na água são vírus, vermes, fungos, coliformes e bactérias.

Os estudos de desinfecção da água através de radiações ultravioletas objetivam a elaboração de um sistema de tratamento de água própria para consumo para regiões onde não há um fornecimento de água tratada. O mesmo sistema pode ser utilizado, por exemplo, na desinfecção de águas pluviais para utilização em sanitários.

O sistema de desinfecção por ultravioleta (UV) incide radiação eletromagnética da lâmpada sobre a água eliminando microorganismos. Quando a radiação UV gerada por uma descarga elétrica no vapor de mercúrio penetra no material genético do organismo, este tem sua capacidade reprodutora prejudicada.

Segundo trabalho realizado por Oliveira (2003), a radiação ultravioleta se mostra muito eficiente na inativação de microorganismos patógenos encontrados em efluentes domésticos. Os efluentes analisados atingiram uma qualidade que admite um uso para irrigação sem restrições, de acordo com a Organização Mundial da Saúde.

O desenvolvimento do sistema proposto permite que sejam feitas desinfecções de água mesmo em comunidades isoladas que não possuem acesso a energia elétrica, a saneamento básico ou a água própria para consumo.

A energia solar fotovoltaica possui um grande potencial para ser utilizada em países em desenvolvimento. Ela representa uma solução para a energização de cargas em lugares onde não há conexão com a rede elétrica das concessionárias (KREUTZ, 2003).

Os níveis de irradiação solar no Brasil são muito propícios à utilização de energia fotovoltaica. Devido à faixa de latitude em que se encontra, os níveis de radiação incidente medidos no Brasil são muito superiores aos níveis encontrados na maior parte do mundo. (PEREIRA et al., 2006)

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia aplicada no desenvolvimento desse trabalho consistiu em:

- a) Pesquisar bibliografias acerca dos principais conceitos necessários para o cumprimento dos objetivos propostos. Essa pesquisa é apresentada nos primeiros capítulos desse trabalho. A importância da pesquisa bibliográfica é construir uma base de conhecimento que proporcione conceitos claros e concisos acerca dos principais temas que constituem o trabalho proposto. Os principais temas abordados na pesquisa bibliográfica são: a constituição e o funcionamento de módulos fotovoltaicos, a radiação ultravioleta, a qualidade da água e a desinfecção da água por meio de radiação ultravioleta;
- b) Analisar a relevância do trabalho, levantando os problemas e premissas. Compreender as verdadeiras necessidades a serem satisfeitas permite que o objetivo principal do trabalho seja justificado e auxilia o direcionamento das idéias e proposições, mantendo-os dentro do contexto do trabalho;
- c) Pesquisar material relativo ao projeto proposto. Pesquisar máquinas, equipamentos e sistemas que cumprem tarefas semelhantes às demandadas. Comparar as características dos mesmos com as características do projeto proposto;

- d) Estabelecer os parâmetros de funcionamento do sistema proposto. Estabelecer limites mínimos de qualidade da água desinfectada, limite mínimo para a quantidade de água desinfectada diariamente e limite máximo para custo de execução;
- e) Construir um protótipo do sistema e verificar sua eficácia;
- f) Elaborar manual para a reprodução do projeto contendo os passos para a construção e instalação do sistema.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esse trabalho é estruturado da seguinte forma:

Capítulo 1 – Nesse capítulo é feita a introdução ao tema, onde são apresentados os objetivos e as motivações que levaram à realização do trabalho.

Capítulo 2 – Apresenta a importância da água tratada para a sociedade e aborda teorias sobre doenças causadas devido a água contaminada, medidas para desinfecção, padrões de potabilidade, parâmetros da qualidade da água potável, uma análise do efeito da radiação UV em microorganismos patogênicos e apresenta informações sobre lâmpadas UV.

Capítulo 3 – Abrange o tema energia solar fotovoltaica, comenta um pouco sobre sua história, esclarece o efeito fotovoltaico, apresenta característica sobre células solares, módulos solares, sistemas solares e o potencial fotovoltaico brasileiro.

Capítulo 4 – Apresenta informações sobre o funcionamento do protótipo, sua constituição e etapas de montagem.

Capítulo 5 – Descreve a metodologia aplicada na análise da água coletada e desinfectada. Apresenta os resultados obtidos quanto a desinfecção da água.

Capítulo 6 – São apresentadas as conclusões do trabalho, juntamente com sugestões de melhorias e novas idéias para a continuidade do projeto.

Capítulo 7 – Apresenta as referências do trabalho.

Capítulo 8 – Contém os anexos referidos no texto.

2.IMPORTÂNCIA DA ÁGUA

O controle da qualidade da água é de extrema importância para a manutenção da vida no planeta. Porém, enquanto a demanda de consumo de água aumenta gradativamente, a exploração não sustentável dos recursos hídricos gera problemas na qualidade da água (SILVA, 2009). Assim, um grande desafio para a humanidade é o atendimento a demanda de água de boa qualidade (PINHEIRO, 2005).

Estimativas indicam uma escassez mundial de água nos próximos anos para produção de alimentos e para o desenvolvimento econômico. É estimado um consumo per capita mínimo de 1000 m³ por ano de água. Cerca de 26 países, em sua maioria na África, já se encontram abaixo deste valor e acredita-se que várias outras regiões também entrarão nessa categoria, tais como, Cidade do México, Nova Deli, Pequim e Recife (WRIGHT, 2000 e GRASSI, 2001). Incluindo nessas estimativas as “águas virtuais”. A água virtual, segundo o Conselho Mundial da Água (*World Water Council – WWC*), é definida como a quantidade de água necessária para produção de alimentos ou produtos que necessitam água. Por exemplo, para produzir um quilo de soja são necessários cerca de 1.500 litros de água. Para a carne bovina, cerca de 15.000 litros (BRUDERER, 2008).

Segundo dados da Organização Mundial da Saúde (OMS, 2009), é estimado que até 2075 cerca de 6 bilhões de pessoas viverão em regiões com problemas de falta de água. Atualmente a OMS afirma que a necessidade diária de um ser humano é de 40 litros de água por dia para beber, tomar banho, lavar as mãos, escovar os dentes e cozinhar. Porém, em regiões onde a água é mais abundante, como na Europa, a média do consumo diário por habitante é de 150 litros. Regiões onde a água é muito menos abundante, como na Índia, o consumo diário é de cerca de 25 litros de água por habitante. Muitas regiões no Brasil são ricas em água de boa qualidade, mas há também regiões semiáridas, que podem ficar por longos períodos sem chuva (ANA, 2002).

Sendo assim, para garantir o desenvolvimento de atividades antrópicas e para o consumo humano, é extremamente necessário que a água passe com um tratamento de desinfecção evitando, assim, a transmissão e disseminação de muitas doenças (SPERLING, 1996).

2.1 DOENÇAS DEVIDO A ÁGUA CONTAMINADA

O conhecimento sobre a possibilidade do ser humano em contrair doenças devido a água contaminada surgiu em a 2000 a.C. (LEAL, 2001). Entretanto, apenas no século XIX foi reconhecido que a água pode ser um meio de transmissão de doenças. Foram identificados e classificados inúmeros agentes patogênicos como a cólera, a febre tifóide, a febre paratifóide e a disenteria (WHITE, 1986).

A ingestão da água contaminada é o principal meio de transmissão de doenças. A água no ambiente físico, como reservatórios de água parada ou poças de água contaminada proporciona um habitat para parasitas, hospedeiros e mosquitos transmissores de doenças, como por exemplo, o *Aedes aegypti*, transmissor da dengue (BRASIL, 2006). Outro mecanismo de transmissão de doenças são os hábitos higiênicos insatisfatórios gerados pela quantidade insuficiente de água. Além disso, diversas infecções originam nos mananciais de água usados para recreação, geralmente contaminador por esgotos sanitários (SILVA, 2001).

Portanto a qualidade da água e um correto fornecimento são fatores que determinam a transmissão de inúmeras doenças no homem (BRASIL, 2006).

As cidades brasileiras em sua maioria são abastecidas por mananciais superficiais e, uma vez que, 90% do esgoto que é coletado pela rede pública retornam ao ambiente sem passar pelo devido tratamento, conclui-se que a população brasileira esta exposta a inúmeras doenças de veiculação dos recursos hídricos (SILVA, 2001).

Segundo pesquisas da UNESP, no mundo, a cada oito segundos uma criança morre por causa da água contaminada e mais de 72% dos leitos hospitalares estão ocupados por pessoas com doenças devido à água contaminada. Cerca de 4 milhões de crianças morrem anualmente devido a diarreia (BONASSI, 2005).

São apresentados na tabela 1, as principais doenças ligadas à água, seus agentes causadores, sintomas e as fontes de contaminação. Observa-se que o sintoma predominante é a diarreia.

Doença	Agente etiológico	Sintomas	Fontes de contaminação
Febres tifóide e paratífóide	<i>Salmonella typhi</i> , <i>Salmonella paratyphi A</i> e <i>B</i>	Febre elevada, diarreia	Fezes humanas
Disenteria bacilar	<i>Shigella dysenteriae</i>	Diarreia	Fezes humanas
Disenteria amebiana	<i>Entamoeba histolytica</i>	Diarreia, abscessos no fígado e intestino delgado	Fezes humanas
Cólera	<i>Vibrio cholerae</i>	Diarreia e desidratação	Fezes humanas e águas costeiras
Giardiase	<i>Giardia lamblia</i>	Diarreia, náusea, indigestão, flatulência	Fezes humanas e de animais
Hepatite A e B	Vírus da hepatite A e B	Febre, icterícia	Fezes humanas
Poliomelite*	Vírus da poliomelite	Paralisia	Fezes humanas
Criptosporidiose	<i>Cryptosporidium parvum</i> , <i>Cryptosporidium muris</i>	Diarreia, anorexia, dor intestinal, náusea, indigestão, flatulência	Fezes humanas e de animais
Gastroenterite	<i>Escherichia coli</i> , <i>Campylobacter jejuni</i> , <i>Yersinia enterocolitica</i> , <i>Aeromonas hydrophila</i> , Rotavírus e outros vírus entéricos.	Diarreia	Fezes humanas

* Doença erradicada no Brasil.

Tabela 1 – Principais doenças devido à água contaminada

FONTE: DANIEL (2001).

2.2 PADRÕES DE POTABILIDADE

Segundo a Portaria nº 518 de 25 de março de 2004 do Ministério da Saúde, a definição de água potável é a água própria para consumo humano cujos parâmetros físicos, microbiológicos, radioativos e químicos atendam aos padrões de potabilidade e que não ofereçam riscos à saúde (BRASIL, 2004).

A água potável não deve possuir sabor e/ou odor desagradáveis, deve ter baixas unidades de turbidez e cor aparente, deve ser ausente de *Escherichia coli* ou coliformes termo tolerantes e não possuir substâncias químicas em concentrações suficientes para causar mal à saúde (BRASIL, 2004).

A Resolução nº 357 de 17 de março de 2005 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) (2005) refere-se às águas potáveis como destinadas ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional, à proteção das comunidades aquáticas; à

recreação de contato primário, à irrigação de hortaliças e plantas frutíferas e à criação natural e/ou intensiva de espécies destinadas à alimentação humana. Enquanto que o Ministério da Saúde refere-se às normas da qualidade da água para consumo humano.

Na Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde, no Capítulo IV - Do Padrão de Potabilidade, são apresentados os valores máximos permitidos dos parâmetros físico-químicos para a água.

A classificação da água segundo a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) pela NBR 9896/03 são (ABNT,1987):

- Água para o consumo humano - água com características benéficas aos fenômenos biológicos, físicos e químicos essenciais à vida; portanto deve estar em conformidade com esses parâmetros normalmente fixados em padrões de potabilidade, o que a torna apta ao consumo humano.

- Água potável – água que satisfaz os padrões de potabilidade e que são de qualidade ao consumo humano.

2.3 PARÂMETROS DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO

Os parâmetros mais analisados de qualidade de água são o sabor e odor, cor, temperatura, cloretos e sulfatos, pH, nitrogênio, turbidez, fósforo, amônia, dureza, fluoretos, nitrato, sólidos totais, alumínio, ferro, bactérias heterotróficas, coliformes fecais e totais (ÁGUAS DE JOINVILLE, 2010; BRASIL, 2006; JAQUES, 2005).

- Sabor e odor – a origem de odores e sabores está associada à presença de gases e/ou a substâncias químicas dissolvidas, também à atuação de microrganismos como algas. Segundo o padrão de potabilidade da Portaria nº 518 do Ministério da Saúde, a água não deve apresentar essas características (BRASIL, 2004).

- Cor – a cor da água é observada através da reflexão da luz em partículas com dimensões inferiores a 1 µm (colóides), de origem orgânica, são os ácidos fúlvicos e húmicos, ou de origem mineral como resíduos industriais e compostos de ferro e manganês. A intensidade da cor é determinada com a comparação da amostra com uma amostra padrão de cobalto-platina, o resultado é fornecido em unidades de cor (uC) ou também conhecidas por unidade Hazen (uH). Para a água ser caracterizada para abastecimento, é distinguida a cor verdadeira da cor aparente, na qual são consideradas as partículas suspensas. Para a

determinação da cor verdadeira é necessário a realização de uma centrifugação da amostra (BRASIL, 2006). Segundo a Portaria nº 518 do Ministério da Saúde, a água potável deve apresentar um grau de potabilidade com um valor máximo permitido de 15 uC (BRASIL, 2004).

- Temperatura – a alteração da temperatura da água é causada principalmente pela energia solar, mas também devido aos despejos industriais. As reações químicas, as atividades metabólicas dos organismos e a solubilidade de substâncias estão diretamente ligadas à temperatura da água. Portanto quanto maior a temperatura da água maior serão as perspectivas de rejeição (BRASIL, 2006).

- Cloretos e sulfatos – é um conjunto de sais dissolvidos na água, formados pelos cloretos, bicarbonatos e sulfatos que dão à água um sabor salino. Devem ser investigadas variações do teor de 9 cloretos pois é uma indicação de poluição. Quando presente na água, o íon sulfato, pode apresentar propriedade laxativa e, se for associado a íons de cálcio e magnésio, é capaz de promover dureza permanente na água e também é um forte indicador de poluição devido à decomposição de matéria orgânica (MAY, 2004). As maiores concentrações são encontradas na água do mar e níveis mais inferiores nas águas naturais (JAQUES, 2005). É exigido pela Portaria nº 518 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004) a água para ser considerada potável tenha uma quantidade máxima de 250 mg/L destes sais.

- pH – é um indicador que varia de 0 a 14 e indica o potencial de hidrogênio presente na água. O balanço entre os íons H^+ e OH^- determina se a água amostrada esta com características ácidas ou básicas, respectivamente. Para um valor igual a 7, ou seja, quando os íons OH^- estão em equilíbrio com os íons H^+ , a amostra é considerada neutra. Este balanço na quantidade de íons H^+ contribui para uma alteração no grau de solubilidade de substâncias e ajuda a definir o potencial de toxicidade de alguns elementos. As variações no valor de pH podem ser originadas devido a fatores naturais (dissolução de rochas, fotossíntese), fatores antropogênicos (despejos industriais e domésticos) ou também devido a poluição atmosférica, mediante a reação do vapor d'água com gases poluentes. Segundo a Portaria nº 518 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004), a água deve estar com valores de pH entre 6,0 e 9,5 para o padrão de potabilidade. Essa faixa de valores tem como objetivo minimizar possíveis problemas de incrustação e corrosão nas redes de distribuição.

- Nitrogênio – este elemento químico pode ser detectado em diversas formas:
 - Nitrogênio molecular (N_2): o nitrogênio nessa forma é continuamente sujeito a perdas para a atmosfera. Algumas espécies de algas fixam esse nitrogênio atmosférico, permitindo um crescimento contínuo mesmo se outras formas de nitrogênio não estiverem disponíveis;
 - Nitrogênio orgânico: é constituído por nitrogênio na forma particulada ou dissolvida;
 - Nitrogênio amoniacal (NH_3): é resultado de matéria orgânica e pode ser encontrado em águas superficiais ou subterrâneas. Quando em altas concentrações indica poluição industrial ou doméstica;
 - Íon nitrito (NO_2^-): muito instável no meio aquoso, é a forma intermediária no processo de oxidação;
 - Íon nitrato (NO_3^-): é a forma final (oxidada) de nitrogênio.

Este elemento é muito importante para o crescimento de plantas aquáticas, sendo portanto assimilável nas formas de nitrato e amônio. Sob condições alcalinas, pode ocorrer um predomínio da amônia não ionizável, que por sua vez, é considerada bastante tóxica aos organismos aquáticos. Em elevadas concentrações o nitrato é associado à doença da metaemoglobinemia, esta doença dificulta a ação das hemoglobinas na corrente sanguínea de bebês (BRASIL, 2006). Segundo a Portaria nº 518 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004), o valor máximo permitido para o nitrito e o nitrato é de 1,0 mg/L e de 1,5 mg/L para nitrogênio amoniacal.

- Turbidez – corresponde a partículas sólidas, de tamanhos variados, em suspensão. Estas partículas geralmente carregam microorganismos, diminuem a eficácia da cloração e geram odor e sabor na água, além de provocarem a absorção e dispersão da luz (CETESB, 2010). A turbidez é a interferência da passagem de luz através do líquido. Essa interferência na penetração da luz sobre a água ocorre devido à presença de materiais em suspensão e é expressa por unidades de turbidez (uT). Lançamentos de esgoto industrial ou doméstico podem dar origem a essa ocorrência. A Portaria nº 518 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004) limita o valor de turbidez da água potável em 5 uT. Esse valor é devido à influência da turbidez nos processos de desinfecção, as partículas podem servir como uma

proteção para os microrganismos patogênicos, minimizando a ação desinfetante (BRASIL, 2006).

- Dureza - os elementos que são frequentemente associados à dureza da água são o cálcio e magnésio (Ca_2^+ , Mg_2^+), mas o estrôncio (Sr_2^+), ferro (Fe_2^+), alumínio (Al_3^+) e manganês (Mn_2^+) também podem ser associados à dureza da água. A origem desta característica pode ser tanto pela dissolução em rochas calcárias, que são ricas em magnésio e cálcio, como também devido à contaminação por resíduos industriais. Uma característica da água dura é a dificuldade em formar espuma, o que implica em um consumo maior de sabões, provocam também incrustações nas tubulações de água aquecida, devido a precipitação dos cátions. É permitido pela Portaria nº 518 do Ministério da Saúde um valor de dureza na água potável de até 500 mg/L (BRASIL, 2004).

- Fluoretos – são normalmente encontrados em águas subterrâneas. Tem um efeito benéfico contra a cárie, porém em elevadas concentrações pode causar danos aos ossos (ÁGUAS DE JOINVILLE, 2010; JAQUES, 2005). A Portaria nº 518 do Ministério da Saúde limita o valor de fluoretos em até 1,5 mg/L na água potável (BRASIL, 2004).

- Sólidos – são subdivididos em sólidos dissolvidos e em suspensão. Sólidos dissolvidos apresentam partículas com diâmetro inferior a 10 μm e que mesmo após o processo de filtração permanecem em solução. Sólidos em suspensão são as partículas que são retidas durante o processo (BRASIL, 2006). Em águas naturais os sólidos dissolvidos são principalmente cloretos, carbonatos, bicarbonatos, fosfatos, sulfatos, nitratos de magnésio, cálcio, potássio e pequenas quantidades de ferro (JAQUES, 2005). A presença de sólidos na água pode ocorrer devido a processos de erosão, organismos, detritos orgânicos ou no lançamento de lixo e esgotos (BRASIL, 2006). A Portaria nº 518 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004) limita o valor de sólidos totais em 1000 mg/L em água potável.

- Alumínio – é muito utilizado no processo de remoção de turbidez e cor. Segundo a Portaria nº 518 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004), o alumínio não deve apresentar uma concentração superior a 0,2 mg/L na água potável. Podendo indicar falhas nas etapas de filtração, coagulação e sedimentação durante o tratamento (JAQUES, 2005).

- Ferro – as concentrações de ferro normalmente encontradas nas águas naturais não apresentam inconvenientes à saúde, portanto, pode provocar manchas em roupas e dar

cor e sabor a água (BRASIL, 2006; JAQUES, 2005). Portanto, o ferro apresenta um limite de 0,3 mg/L na água potável, segundo a Portaria nº 518 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004).

- Micro poluentes – são determinados elementos químicos que, tornam a água tóxica e imprópria para o consumo, mesmo estando em baixas concentrações. Pode-se destacar como micro poluentes os metais pesados como o arsênio, cádmio, cobre, cromo, chumbo, mercúrio, prata, níquel e o zinco. São muito encontrados em águas com resíduos industriais (BRASIL, 2006).

- Coliformes totais – são todas as bactérias na forma de bastonetes, não esporogênicos, aeróbios ou anaeróbios. As condições higiênicas são avaliadas pelo índice de coliformes totais (JAQUES, 2005). É considerado um indicador da possibilidade da existência de microrganismos causadores de doenças (ÁGUAS DE JOINVILLE, 2010). Segundo a Portaria nº 518 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004) os coliformes totais devem ser ausentes em água potável.

- Coliformes fecais – são compostos pelas bactérias que vivem nos intestinos de animais, *Escherichia coli*, e sua presença na água indicam uma contaminação por fezes, e também a possibilidade de adquirir doenças gastrointestinais (BRASIL, 2006). Segundo Portaria nº 518 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004), não devem existir coliformes fecais na água potável.

- Bactérias heterotróficas – A presença dessas bactérias contamina a água e segundo a Portaria nº. 518 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004) o limite na água potável é de 500 unidades formadoras de colônias por litro (UFC/L).

2.4 MICROORGANISMOS INDICADORES DA QUALIDADE DA ÁGUA

O processo de desinfecção elimina ou inativa microorganismos patogênicos que não devem estar presentes na água potável. Em sua maioria os microrganismos são inofensivos à saúde humana, mas devido à contaminação da água, microrganismos patogênicos como bactérias, vírus e protozoários podem também estar presentes na água (DANIEL, 2001).

É necessário um teste para a determinação da eventual presença de cada microrganismo patogênico, isso resultaria em inúmeros testes, causando desperdício de

tempo e recursos financeiros. Portanto é utilizado organismos facilmente identificáveis, cuja ocorrência estaria relacionada à presença dos microorganismos patogênicos, esses organismos são chamados de organismos indicadores (BRASIL, 2006).

O uso dos organismos indicadores se deve por três razões principais (PELCZAR, 1996):

- Os agentes patogênicos não sobrevivem por um período muito longo e tem acesso esporádico ao ambiente hídrico;
- Procedimentos laboratoriais podem não detectar microorganismos patogênicos quando estão em pequeno número;
- O processo de obtenção dos resultados laboratoriais necessita de no mínimo 24 horas para detecção dos agentes patogênicos. Durante esse período muitas pessoas podem consumir a água contaminada antes da correta ação para a situação.

Um organismo indicador possui as principais características (PELCZAR, 1996):

- Está presente apenas nas águas poluídas;
- Está sempre presente na água em que microorganismos patogênicos estão presentes;
- Sobrevivem melhor e por um período de tempo superior aos microorganismos patogênicos;
- Encontra-se em maior quantidade do que os patogênicos, sendo assim, facilmente detectado pelas técnicas laboratoriais padronizadas.

No Brasil, o controle microbiológico da qualidade da água para consumo é fundamentado no controle das bactérias do grupo coliformes. A *Escherichia coli* é a bactéria empregada como indicador de contaminação fecal. A ausência dessa bactéria nas águas para abastecimento garante uma segurança microbiológica da água na saúde (DANIEL, 2001).

Uma análise mensal no sistema de distribuição de água deve ter, segundo a Portaria nº 518 (BRASIL, 2004), um limite no número de bactérias heterotróficas de 500 UFC/mL em 20% das amostras. Este teste serve como um indicador auxiliar da qualidade da água, pois fornece informações bacteriológicas de forma geral. Fornece também

informações sobre possíveis falhas no processo de desinfecção do sistema de distribuição (DOMINGUES, 2007).

2.4.1 *Escherichia coli*

Escherichia coli são bactérias que habitam o trato intestinal de animais. Quando presentes na água indicam a contaminação por fezes, e a possível presença de organismos causadores de doenças gastrointestinais. Condições higiênico-sanitárias deficientes são denotados quando o índice desses coliformes está elevado (BRASIL, 2006).

Escherichia coli é uma bactéria na forma de bastonetes (figura 1).

Podem causar infecções no trato urinário, diarreia e doenças graves de origem alimentar (TORTORA, 2008).

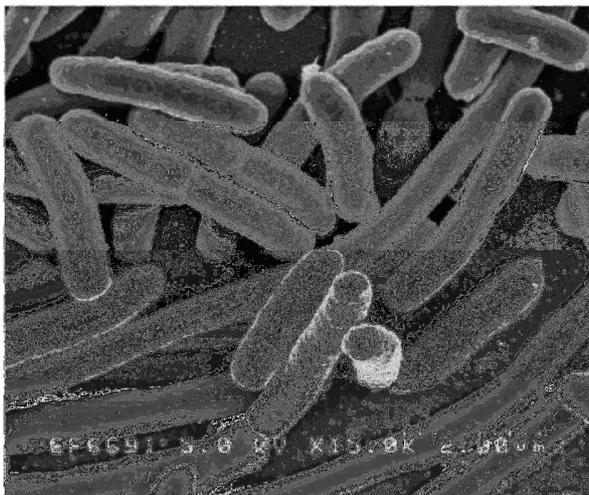


Figura 1 –*Escherichia coli* em microscópio.

FONTE: NATIONAL INSTITUTE OF ALLERGY AND INFECTIOUS DISEASES – (NIAID, 2010).

2.5 DESINFECÇÃO DA ÁGUA

O processo de desinfecção consiste na exterminação de microorganismos patogênicos encontrados na água, tais como as bactérias, vírus, vermes e protozoários. Isso ocorre devido a destruição de um grupo de organismos (RICHTER e NETTO, 2000).

A desinfecção pode ser feita por dois processos, por agentes físicos e por agentes químicos.

2.5.1 Agentes químicos

A função dos agentes químicos é controlar doenças que podem ser transmitidas pela água e inativar microorganismos patogênicos, tornando a água potável (DANIEL, 2001). A capacidade desinfetante de um agente químico dentro da célula existe devido à difusão que ocorre dentro da mesma (SILVA, 2001).

O cloro (Cl_2) é o desinfetante químico de uso mais comum na produção de água potável. Além do cloro, são utilizados o hipoclorito de cálcio ou de sódio, dióxido de cloro (ClO_2), o ácido peracético (CH_3COOH), ozônio (O_3), a mistura de ozônio e peróxido de hidrogênio ($\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$), o íon ferrato (FeO_4^{-2}), permanganato de potássio (KMnO_4) e outros agentes que ainda estão em fase de desenvolvimento que são os sais de prata, sais de cobre e detergentes (BRANDÃO, 2001).

Os agentes desinfetantes químicos atacam o sistema respiratório, o ácido nucléico e o transporte através da parede celular das bactérias. Em vírus, o mecanismo é um desarranjo dos ácidos nucléicos (ALPHA, 1991).

O método de desinfecção pelo cloro, apesar de ser muito utilizado e eficiente, pode induzir à formação de elementos tóxicos, que podem ser prejudiciais à saúde do ser humano (DONAIRE, 2001).

2.5.2 Agentes físicos

Apesar dos métodos físicos ainda estarem em fase de desenvolvimento, eles estão sendo usados em certos países no abastecimento público. Espera-se que estes métodos venham a substituir os métodos químicos minimizando assim a formação de subprodutos tóxicos, tais como os aldeídos, as cetonas e os cloratos (SHABAN, 1997).

Os processos oxidativos avançados (POA) e a radiação ultravioleta (UV) podem ser considerados como agentes físicos utilizados para a desinfecção da água (DANIEL, 2001).

Em sua maioria, os processos biológicos utilizados no tratamento da água não atingem os padrões estabelecidos pela legislação ambiental na remoção de patógenos. Dessa forma, a utilização da radiação ultravioleta como forma de desinfecção da água pode ser considerada uma alternativa para um tratamento desses efluentes, podendo então,

alcançar os padrões mínimos estabelecidos na inativação de microrganismos patogênicos, reduzindo possíveis danos à saúde pública (ALVES, 2003).

Outra maneira de garantir a pureza da água é fervê-la, o que é recomendado por muitos programas de cuidados com a saúde e de higiene. Ferver a água rapidamente durante, pelo menos, cinco minutos, mata qualquer organismo causador de doenças. Entretanto, ferver a água não é fácil. É necessário muito combustível, o qual frequentemente é caro ou difícil de encontrar, o gosto da água pode mudar, a água precisa ser esfriada antes de ser consumida e enquanto a água esfria, é preciso muito cuidado na manipulação para que não haja acidentes com queimaduras. Assim, ferver a água não é uma saída muito prática. A radiação ultravioleta pode ser uma alternativa no processo de desinfecção da água (DANIEL, 2001).

2.6 RADIAÇÕES ULTRAVIOLETAS (UV)

Pertencente ao espectro eletromagnético, a radiação ultravioleta está situada em uma faixa entre os raios X e a luz visível e tem comprimento de onda de 100 a 400 nm, conforme apresentado na figura 2.

Raios Cômicos	Raios Gama	Raios X	UV	Luz Visível	Infravermelho	Microondas	Ondas Radiais
---------------	------------	---------	----	-------------	---------------	------------	---------------

100 nm ----> 400 nm

Figura 2 - Espectro eletromagnético.

FONTE: WRIGHT e CAIRNS, 1998

A radiação ultravioleta é dividida em grupos, de acordo com o seu comprimento de onda, conforme mostrado na tabela 2. (WRIGHT e CAIRNS, 1998).

Subdivisão	Comprimento de onda (nm)
UV vácuo	40 a 200
UV C	200 a 280
UV B	280 a 315
UV A	315 a 400

Tabela 2 – Subdivisão da radiação UV

FONTE: WRIGHT e CAIRNS, 1998

O intervalo de comprimento de onda, para os efeitos bactericidas, encontra-se entre 245 e 285 nm, ou seja, na subdivisão UVC. Sendo que o valor de maior efeito desinfetante é de 254 nm (BOLTON, 2000).

Os primeiros processos de desinfecção da água através da radiação UV foram feitos com o uso de uma lâmpada de vapor de mercúrio em um tubo de quartzo em 1910 em Marselha (HIJNEN, 2006). Esses processos foram prejudicados, em relação aos processos químicos, devido ao elevado custo do equipamento na época. A radiação UV passou a ser mais usada após estudos sobre a produção de subprodutos durante o processo de cloração e ozonização, uma vez que, a UV praticamente não produz subprodutos que oferecem riscos à saúde (WOLFE, 1990).

Desde 1980, nos países europeus, a radiação UV vindo sendo usada para a obtenção de água potável e para o controle de organismos patogênicos. Esse processo teve um maior uso, na Europa e nos Estados Unidos, após a comprovação da radiação UV contra microorganismos patogênicos presentes na água (HIJNEN, 2006). No Brasil, pesquisas foram desenvolvidas somente a partir de 1977, na Escola de Engenharia de São Carlos, e tinham como objetivo principal o uso da radiação em esgotos (CAMPOS e PIZZARINI, 1977; DANIEL, 1993).

2.6.1 Dose de radiação UV

Tanto as bactérias indicadoras da qualidade da água como os microorganismos patogênicos são inativados quando submetidos à radiação UV, sendo assim, o processo de extermínio dos organismos do grupo coliformes, usando essa radiação pode ter uma maior efetividade em relação aos processos químicos de desinfecção (SHABAN, 1997). A dose de radiação UV (mWs/cm^2) é definida pelo produto da intensidade de radiação (mW/cm^2) pelo tempo de exposição em segundos. Portanto o processo de inativação pode ser dado por um curto período de tempo, mas com uma grande intensidade de radiação, ou com uma radiação de pequena intensidade, mas por um período de tempo mais extenso (DANIEL, 2001).

Para determinar a intensidade de radiação são feitas medições em pontos variados ao longo da lâmpada ultravioleta, obtendo dessa forma uma intensidade média de radiação, esse processo denomina-se radiometria. No equipamento há um sensor específico para o

comprimento de onda de 254 nm. Outro método para a determinação da intensidade é chamado de actinométrico, que utiliza reações fotoquímicas. A obtenção do resultado é feita por produtos químicos padronizados, sabendo-se a quantidade de produto formado pela quantidade de radiação que foi absorvida. O ferrioxalato de potássio é o mais usado. Pode-se também estimar a intensidade de radiação através de modelos matemáticos. Considera-se nesse caso, a lâmpada como um somatório de pequenas fontes de radiação (DANIEL, 2001). Usam-se também bioensaios. São adicionadas à água determinadas concentrações de microorganismos, cujos resultados quando expostos à ultravioleta são conhecidos. A dose recebida é então calculada, sabendo-se a concentração de organismos antes e depois do ultravioleta e o tempo de exposição (EDSTROM INDUSTRIES INC. 2003).

A tabela 3 apresenta variadas doses de radiação usadas para desinfecção de microorganismos.

Microrganismo	Dose de Radiação (mWs/cm ²)	Microrganismo	Dose de Radiação (mWs/cm ²)
Bactérias		Esporos	
<i>Bacillus anthracis</i>	8,7	<i>Aspergillus flavus</i>	99,0
<i>B. subtilis</i> (esporos)	22,0	<i>Aspergillus niger</i>	330,0
<i>B. subtilis</i> (vegetativo)	11,0	<i>Mucor racemosus</i> A	35,2
<i>Corynebacterium diphtheria</i>	6,5	<i>Oospora lactis</i>	11,0
<i>Escherichia coli</i>	6,6	<i>Penicillium digitatum</i>	88,0
<i>Legionella pneumophila</i>	2,8	<i>Penicillium expansum</i>	22,0
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	26,4	<i>Penicillium roqueforti</i>	26,4
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	10,0	<i>Rhizopus nigricans</i>	220,0
<i>Salmonella enteritidis</i>	7,6	Fungos	
<i>Sarcina lutea</i>	10,5	Fungos de pão	8,8
<i>Shigella dysenteriae</i> (disenteria)	4,2	Fungos de cerveja	6,6
<i>Shigella flexneri</i> (paradysenteriae)	3,4	Fungos comuns de bolo	13,2
<i>Shigella sonnei</i>	5,0	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	13,2
<i>Staphylococcus aureus</i>	6,6	<i>Saccharomyces sp.</i>	17,6
<i>Vibrio cholerae</i>	6,5	Algas/Protozoários	
Vírus		Verde-Azul	600,0
<i>Vírus influenza</i>	6,6	<i>Chlorella vulgaris</i> (alga)	22,0
<i>Vírus da poliomielite</i>	14,0	<i>Cryptosporidium parvum</i>	120,0
<i>Rotavírus</i>	15,0 – 40,0	Ovos de nematóides	92,0

Tabela 3 – Doses de radiação para inativação de 99% de microorganismos (mWs/cm² em 254 nm).
FONTE: EDSTROM INDUSTRIES, 2003

A inativação de microorganismos patogênicos através da radiação UV é muito eficaz para as práticas atuais de obtenção de água potável. Os vírus e esporos de bactérias são os organismos que mais apresentam resistência. Entretanto as bactérias e cistos de *Cryptosporidium* e *Giardia* são muito suscetíveis. Estudos demonstram que bactérias ambientais têm apresentado um aumento da resistência aos raios UV se comparadas com organismos usados em laboratório. Isto pode significar que são necessárias maiores doses de UV para a inativação. Este fenômeno apresenta pouco significado para protozoários (HIJNEN, 2006).

2.7 MECANISMOS DE INATIVAÇÃO

O processo de desinfecção se dá através da absorção da radiação UV pelos ácidos nucleicos RNA, DNA e pelas proteínas. As proteínas presentes na membrana celular absorvem doses de UV causando o rompimento das membranas e a morte da célula. Já com uma pequena absorção de radiação pelo DNA, ocorre um rearranjo dos genes impedindo o microrganismo de se reproduzir (SKOOG, 1994). A figura 3 apresenta a ação da radiação ultravioleta na célula bacteriana.

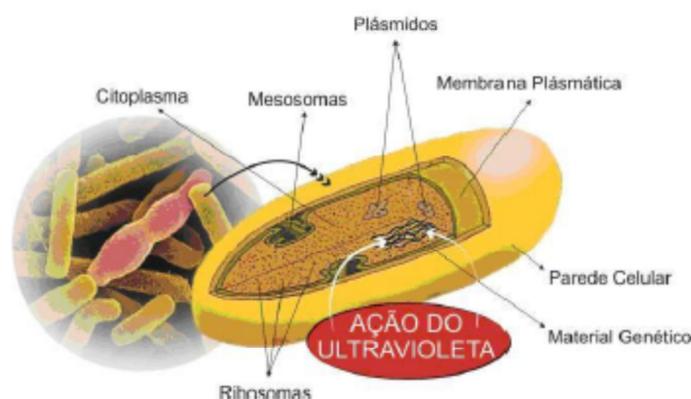


Figura 3 – Ação da radiação ultravioleta em células bacterianas.

FONTE: SNATURAL, 2011

O DNA é um polímero de ácidos nucleicos constituído por quatro bases, a timina, adenina, guanina e citosina. Estas bases são ligadas em pares (timina com a adenina e a guanina com a citosina), formando o código genético. A timina sofre uma reação fotoquímica, mostrada na figura 4. A quebra da estrutura do DNA se dá através da junção

de duas timinas por meio da absorção do fóton da radiação UV, isso impede a célula de se reproduzir (MONTAGNER, 2005).

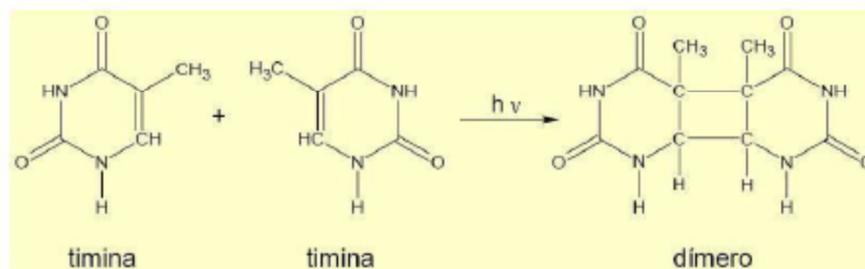


Figura 4 – Dimerização fotoquímica de duas timinas.

FONTES: DANIEL, 2001

2.7.1 Limitações na utilização da radiação UV

Os microorganismos inativos podem se recuperar se a intensidade de radiação UV não for suficientemente letal. Portanto, é muito importante que haja um correto dimensionamento da radiação nas instalações. Como esse processo nada mais é do que energia na forma de ondas eletromagnéticas, a eficiência não é afetada pelos parâmetros temperatura, pH e alcalinidade da água. Entretanto, quando esse processo é aplicado em uma água considerada dura, pode haver uma decomposição de sais como o CaCO₃ no tubo em que a lâmpada é revestida, essa decomposição reduz a transmissão da radiação para a água. Matéria orgânica em suspensão assim como o fenol, sulfeto, ferro e o nitrito, podem servir como uma forma de proteção aos microorganismos contra a radiação incidente na água (MASSCHELEIN, 2002; DANIEL, 2001).

Para que a desinfecção ocorra de maneira mais efetiva, deve haver uma penetração da luz na água. Portanto, esta deve possuir baixos níveis de turbidez (BILLOTA e DANIEL, 2006).

A Edstrom Industries Inc. (2003) recomenda alguns fatores a serem considerados para uma desinfecção eficiente. Esses fatores são apresentados na tabela 4 e estão relacionados principalmente com o nível de exposição dos contaminantes no meio e a eficiente transmissão de ultravioleta para uma adequada ativação, onde NTU é o nível de turbidez do meio. Problemas como o sombreamento que resultam no ofuscamento de contaminantes, fluxo inadequado, intensidade da lâmpada e a incrustação do tubo de quartzo, devem ser analisados (TECHNOLAMP, 2007).

Contaminantes	Níveis máximos recomendados
Grau de turbidez	< 5 NTU
Total de sólidos - suspensão	< 10 mg/L
Dureza total	< 120 mg/L
Fe	< 0,3 mg/L
pH	entre 6,5 e 9,5
Cor	*
Limpeza das lâmpadas	Periódica

*A desinfecção por UV não é afetada pela cor da água.

Tabela 4 - Níveis máximos de contaminantes recomendados.

FONTES: EDSTROM INDUSTRIES INC. (2003).

Souza (2000) comparou a eficiência da radiação na inativação das bactérias *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens* e Colifagos utilizando uma água com nível de turbidez de 2 NTU e foi verificado que com doses de 2,47, 9,83 e 19,67 mWs/cm² é obtida uma eficiência de 99,976 %, 99,99 % e 99,99 %, respectivamente. Porém, para uma água com turbidez de 50 NTU e doses de 3,47, 6,95 e 10,45 mWs/cm² as eficiências registradas foram de 53,27 %, 92,5 % e 99,7 %, respectivamente.

Nos experimentos realizados por Lobo (2009), foi utilizado a *Saccharomyces cerevisiae* como indicador, e amostras de água com turbidez maior do que 25 NTU apresentaram uma menor eficiência na desinfecção do que amostras com nível de turbidez de 13 NTU, no entanto, os resultados foram todos superiores a 99 % de desinfecção para uma dose de 17,6 mWs/cm².

2.8 APLICAÇÕES DA RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA

No Brasil, estão sendo realizadas diversas pesquisas com o objetivo de otimizar parâmetros para o processo de fotocatalise no atendimento à população, tanto no âmbito de saúde pública como no industrial (DANIEL, 2001).

Um estudo na indústria alimentícia demonstrou que quando suco de maçã foi tratado com radiação UV após ser inserido *Staphylococcus aureus* em seu conteúdo, apresentou melhores resultados quando comparado com o convencional tratamento através da pasteurização (WALKLING-RIBEIRO, 2008).

Na área ambiental, houve uma melhora no processo de desinfecção da água utilizando a radiação UV em comparação com os métodos oxidativos usuais (UV/H₂O₂,

O₃/H₂O₂) para redução de tricloroetileno e tetracloroetileno, compostos contaminantes detectados na água potável (HIRVONEN, 1996).

Sá Silva et al. 2003 avaliaram a utilização da radiação UV para o controle de *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli* que são adicionados em filmes de polietileno de baixa densidade, foi usada uma intensidade de 196 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ a 254 nm, por um período de 2 segundos. As conclusões foram que a técnica UV é muito útil para redução dos microorganismos aderidos à superfície dos filmes.

Pesquisas feitas por Souza (2000) usando a bactéria *Escherichia coli* como indicador, concluíram que o método de desinfecção por UV é principalmente afetado por compostos orgânicos e inorgânicos dissolvidos na água e por pequenas partículas em suspensão no meio aquoso que interferem na transmissão da irradiação ultravioleta na água. A incidência da luz nos microrganismos é dificultada pela presença dessas partículas que formam uma espécie de “abrigo” para os microorganismos diminuindo a eficiência da desinfecção. Nos experimentos, foi utilizada água com nível de turbidez de 2,0 NTU e 5,0 unidades de cor (uC), obteve-se um extermínio de 99,99 % de *Escherichia coli*. Já, para uma água com turbidez de 50 NTU e cor com nível de 20 uC, foi obtido uma inativação de 99,97 % da bactéria.

Oliveira (2003) realizou uma pesquisa com o objetivo de avaliar a capacidade de desinfecção do método UV em efluentes domésticos. Foi analisada a inativação de Coliformes totais, da bactéria *Escherichia coli*, cistos de protozoários e ovos de helmintos. Foi utilizado um reator de lâmpadas UV emersas e um colimador UV. Depois de varias aplicações de UV que variavam de 10 a 100 mWs/cm^2 de intensidade, foi observado que uma exposição com intensidade de radiação de 40 a 60 mWs/cm^2 o método removeu efetivamente os coliformes totais. Portanto, os efluentes domésticos, após passarem pelo tratamento com radiação UV de 30 mWs/cm^2 , alcançaram um nível de qualidade aceitável para utilização em irrigação, de acordo com os padrões da OMS (Organização Mundial da Saúde).

2.9 LÂMPADA ULTRAVIOLETA

As lâmpadas emissoras de ultravioleta são compostas tipicamente de um tubo selado de quartzo e contém vapor de mercúrio e gás argônio a uma pressão de 2,5 Torr

(Unidade de medição de pressão – 1 Torr = 133,3 pascals = 0,0013332 bar). Nestas condições, pode-se considerar o tubo em vácuo parcial. Os eletrodos nas extremidades da lâmpada são normalmente espirais e feitos de tungstênio. Eles são revestidos com uma substância emissora de elétrons. Quando uma diferença de potencial é aplicada, os elétrons movimentam-se de um eletrodo para outro, criando um fluxo de corrente denominado de descarga elétrica ou arco voltaico. Esses elétrons chocam-se com átomos de argônio, emitindo mais elétrons. Por fim, esses elétrons chocam com os átomos do vapor de mercúrio, energizando esses átomos e resultando na emissão da radiação ultravioleta (BATTYE, 1994).

Lâmpadas emissoras de ultravioleta germicida são utilizadas com frequência na desinfecção de água. Conforme apresentado no catálogo de produtos da Philips do ano de 2010, os benefícios apresentados por essa lâmpada são:

- Eficácia contra vírus, protozoários, bactérias, fungos e diversos outros microorganismos;
- Sua desinfecção não gera subprodutos na água, garantindo uma desinfecção segura e não alterando o sabor da água;
- A radiação ultravioleta age instantaneamente;
- Não há problemas de superdosagem.

As lâmpadas emissoras de radiação ultravioleta podem ser classificadas como:

- Lâmpada de baixa pressão (monocromáticas);
- Lâmpada de baixa pressão de amálgama;
- Lâmpada de média pressão (policromáticas).

2.9.1 Baixa Pressão (Monocromáticas)

A lâmpada de baixa pressão (LP) é muito eficiente como fonte de irradiação da luz ultravioleta. Classificada no mesmo grupo das lâmpadas fluorescentes, o comprimento de onda da luz emitida é aproximadamente 254nm (CRYSTEC, 2007).

Sendo as mais comuns, são feitas em um tubo quartzo, possuem dois filamentos de tungstênio, contém aproximadamente 60 mg de mercúrio a 10 Torr, e podem apresentar vida útil de até 8.000 horas (AQUAAMBIENTE, 2004).

2.9.2 Lâmpada de baixa pressão de amálgama

São também monocromáticas e foram desenvolvidas para resolver problemas associados às de baixa pressão. Entretanto, necessitam de um tempo maior para alcançar o rendimento máximo. Contém aproximadamente 120mg de mercúrio (amálgama de mercúrio) e vida útil de até 10.000 horas. A vida útil é normalmente afetada devido a depósitos de óxidos de mercúrio que dificultam a dissipação de calor (AQUAAMBIENTE, 2004).

2.9.3 Lâmpada de média pressão (policromática)

Contendo cerca de 300 mg de mercúrio a uma pressão de 1000 Torr, essas lâmpadas de média pressão emitem luz com comprimento de onda que vai desde 200 nm até valores próximos do espectro visível (AQUAAMBIENTE, 2004).

A capacidade germicida dessas lâmpadas é de 15 a 20 vezes mais intensa em comparação com as lâmpadas de baixa pressão. Por serem mais intensas, têm poder germicida mais rápido, uma vez que perfuram a membrana celular com mais facilidade. Porém, como operam a elevadas temperaturas, a superfície pode chegar até a 800 °C (graus celsius) e têm um consumo de energia muito elevado (AQUAAMBIENTE, 2004).

A figura 5 mostra a distribuição dos espectros em lâmpadas de mercúrio de baixa pressão. A figura 6 mostra a distribuição dos espectros em lâmpadas de maior pressão.

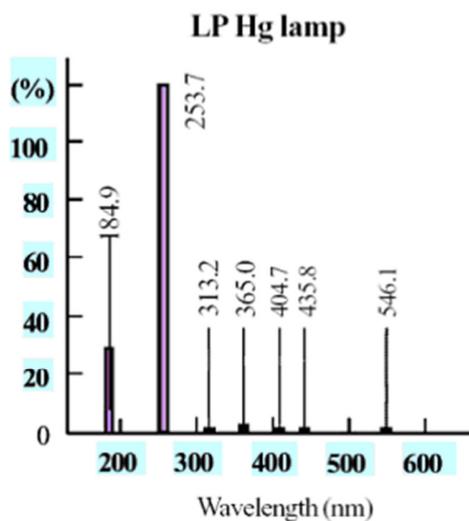


Figura 5 – Curvas de distribuição espectral de lâmpadas de baixa pressão
 FONTE: CRYSTEC, 2007.

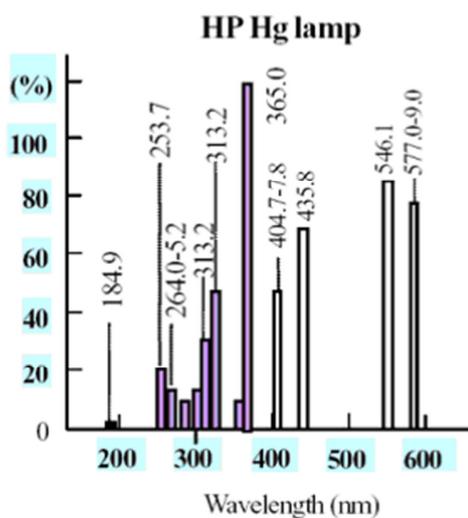


Figura 6 – Curvas de distribuição espectral de lâmpadas de maior pressão
 FONTE: CRYSTEC, 2007.

2.10 Modelos de Lâmpadas

Existem diferentes modelos de lâmpadas UV germicida. Elas são classificadas conforme a tecnologia aplicada, aspectos construtivos e aplicabilidade. Para a desinfecção de pequenos volumes de ar e de água (uso residencial, por exemplo) a fabricante Philips

recomenda o uso de lâmpadas compactas que possuem um terminal na base. Um exemplo de lâmpada germicida compacta é mostrado na figura 7 a seguir.



Figura 7 – Lâmpada UV tubular de média pressão Philips
 FONTE: PHILIPS, 2010.

A tabela 5 a seguir apresenta os dados técnicos das lâmpadas tubulares que constam no catálogo de produtos da Philips.

Tipo	Base	Nr. dim.	Wattagem da lâmpada (W)	Tensão da lâmpada (V)	UVC 100 (h)	Corrente da lâmpada (A)	Vida útil (h)	Depreciação com tempo de vida útil (%)	Tipo de embalagem	Configuração da embalagem	Número para pedido 92790...
TUV PL-S 5W/2P	G23	1	5.5	35	1.0	0.180	9000	20	1CT	6x10 BOX	0504007
TUV PL-S 5W/4P	G23	2	5.1	27	1.0	0.190	9000	15	1CT	5x10 CC	0804007
TUV PL-S 7W/2P	G23	3	7.1	46	1.6	0.175	9000	20	UNP	5x10 CC	1104008
TUV PL-S 7W/4P	2G7	4	7.0	37	1.6	0.190	9000	20	1CT	5x10 CC	1504007
TUV PL-S 9W/2P	G23	5	9.0	60	2.4	0.170	9000	20	1CT	6x10 BOX	1704008
TUV PL-S 9W/4P	2G7	6	8.6	60	2.4	0.170	9000	20	1CT	6x10 BOX	1904007
IUV PL-S 11W/2P	G23	7	11.0	89	3.6	0.160	9000	20	1C1	6x10 BOX	2304007
TUV PL-S 13W/2P	GX23	8	13.0	56	3.4	0.290	9000	20	1CT	6x10 BOX	2804007

Tabela 5 – Dados técnicos de lâmpadas UV tubulares Philips
 FONTE: PHILIPS, 2010.

Essas lâmpadas de média pressão disponíveis no catálogo da Philips emitem um amplo espectro na faixa UVC. Em comparação com as lâmpadas de baixa pressão, quantidades consideráveis de radiação em torno de 254 nm são emitidas. Podem ser fabricadas com quartzo especial visando reduzir consideravelmente a emissão para menos de 240 nm ou para maximizar a radiação a 185 nm (PHILIPS, 2010). Para aplicações industriais são aconselhadas lâmpadas de amálgama ou lâmpadas de mercúrio de média pressão. As lâmpadas de média pressão, além da aplicabilidade germicida, também são utilizadas em indústrias onde é necessário impedir a formação de nitrito ou produzir ozônio. Para cada aplicação utiliza-se um tratamento específico do quartzo utilizado para intensificar a radiação de comprimento de onda compatível com a utilidade. Para a

produção de ozônio, por exemplo, maximiza-se a radiação a 185 nm e para impedir a formação de nitrito maximiza-se a radiação a 240 nm.

3. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

3.1 HISTÓRIA

O físico francês Alexandre Edmond Becquerel (1820 - 1891) foi o primeiro a descobrir o efeito fotovoltaico, em 1839. O físico notou que certos materiais, quando expostos à luz, apresentavam uma pequena diferença de potencial nos extremos de sua estrutura. Em 1873 o professor inglês Willoughby Smith (1828 - 1891) descobriu o efeito fotovoltaico no selênio e, alguns anos depois, juntamente com seu aluno William G. Adams (1836 - 1915) também notou este efeito em junções de platina e selênio. Essas descobertas serviram de base para que o americano Charles Fritts, em 1883 desenvolvesse o primeiro protótipo de célula fotovoltaica. As células eram feitas de selênio e possuíam uma camada fina de ouro. O preço de confecção de cada célula era muito elevado e o rendimento das células era de cerca de 1,5%. (ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA, 2011).

Em 1954, pesquisadores do laboratório *Bell Labs* nos Estados Unidos descobriram acidentalmente que diodos de junção p-n produziam tensão quando as luzes do laboratório estavam acesas. A partir desse evento, pesquisas feitas nesse laboratório levaram à confecção de uma célula de silício p-n com eficiência de aproximadamente 6% apenas um ano depois. Houve então um grande interesse nessa tecnologia, uma vez que propôs-se a utilização de células solares fotovoltaicas para fornecer energia elétrica para satélites. (LUQUE E HEGEDUS, 2005).

A partir da década de 60 o tema energia solar atraiu o interesse de diversas instituições, que passaram a investir em novas descobertas nessa área. Em 1958 a NASA lançou o satélite *Vanguard*, cuja energia reserva era produzida a partir de células fotovoltaicas de silício. Em 1959 a *Hoffmans Electronics* dos Estados Unidos apresentou células de silício com eficiência de 10%. No Japão em 1963 apareceram os primeiros módulos fotovoltaicos no comércio. Em 1973, a crise mundial do petróleo provocou o interesse de muitas nações na busca de energias alternativas e a energia fotovoltaica chamou a atenção de muitos devido a construção da primeira residência alimentada por

painéis fotovoltaicos na Universidade de Delaware, nos Estados Unidos. Na década de 80 surgiu a primeira célula de filme fino. Nessa mesma década foi instalado no Canadá um sistema com 6 MW e foi testado na Austrália a primeira célula com eficiência maior do que 20%. Em 1995 uma iniciativa alemã propôs a larga utilização de sistemas fotovoltaicos residenciais, o que impulsionou a criação de legislações para a geração e utilização da energia solar fotovoltaica em vários países. No ano de 1997 a potência instalada fotovoltaica mundial atingiu a marca de 100 MW e dois anos depois, em 1999, a potência instalada mundial subiu para 1000 MW. No ano de 2000 foi concebido na Austrália o primeiro bacharelado em engenharia solar e fotovoltaica. Em 2002 a potência instalada mundial atingiu a marca de 2000 MW (o dobro do valor registrado três anos antes). (LUQUE E HEGEDUS, 2005).

O gráfico 1 apresenta as potências instaladas totais em diversas regiões do mundo no ano de 2010. A tabela 6 apresenta as 15 maiores instalações fotovoltaicas do mundo, até o ano de 2010.

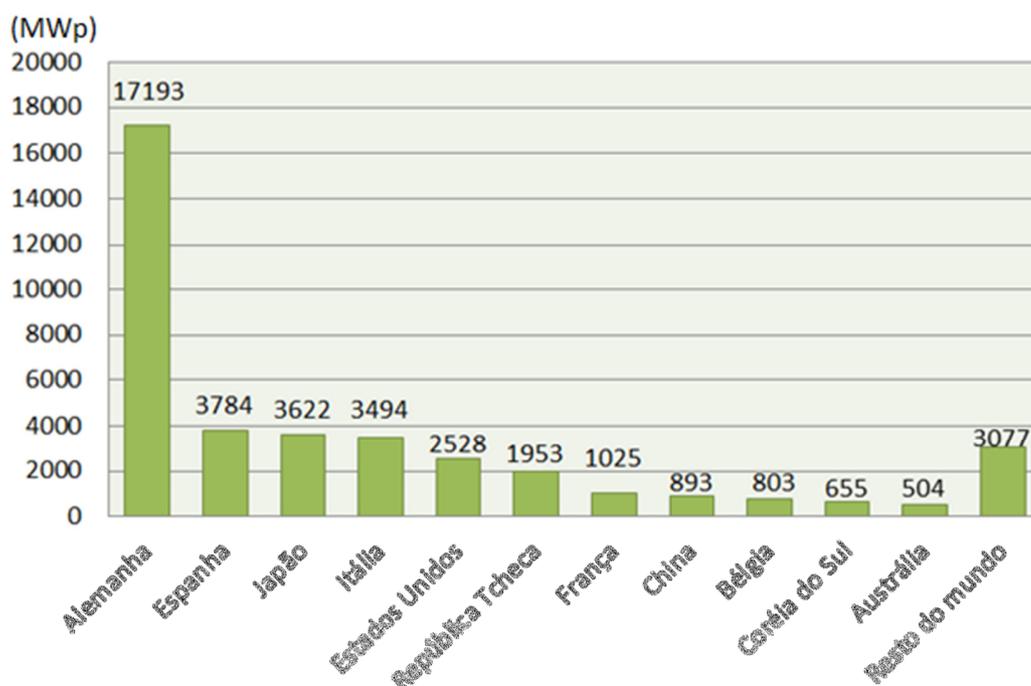


Gráfico 1 – Potências instaladas totais em diversas regiões
 FONTE: EPIA, 2010 (ADAPTADO)

Potência Instalada [MW]	País	Região	Ano
97,0	Canadá	Ontario	2010
84,2	Itália	Lazio	2010
80,2	Alemanha	Brandenburg	2010
70,6	Itália	Veneto	2010
60,0	Espanha	Kastilien - La Mancha	2008
54,0	Alemanha	Bayern	2009
52,8	Alemanha	Brandenburg	2009
48,0	Estados Unidos	Nevada	2010
47,6	Espanha	Kastilien - La Mancha	2008
46,0	Portugal	Alentejo	2008
42,7	Itália	Apulien	2010
40,0	Alemanha	Sachsen	2008
36,0	Alemanha	Brandenburg	2010
35,0	República Tcheca	Středočeský kraj	2010
34,6	Itália	Emilia - Romagna	2010

Tabela 6 – Maiores instalações fotovoltaicas do mundo
 FONTE: PVRESOURCES, 2011 (ADAPTADO).

3.2 CÉLULA SOLAR E EFEITO FOTOVOLTAICO

Células solares convertem luz solar em eletricidade. Isso ocorre devido à utilização de materiais semicondutores, como o silício, que emitem elétrons quando são atingidos por um feixe de fótons. Como resultado tem-se uma diferença de potencial entre os extremos do material. O mesmo efeito pode ser observado, por exemplo, com a utilização de eletrodos conectados a um sistema *líquido*, porém praticamente todos os sistemas compostos por células solares convencionais utilizam semicondutores. (GOETZBERGER E HOFFMANN, 2005).

Uma célula solar é composta basicamente de duas camadas finas compostas cada uma por um material semicondutor distinto. Uma camada é a camada positiva, *p*, e a outra é a camada negativa, *n*. A figura 8 apresenta a estrutura de uma célula solar típica.

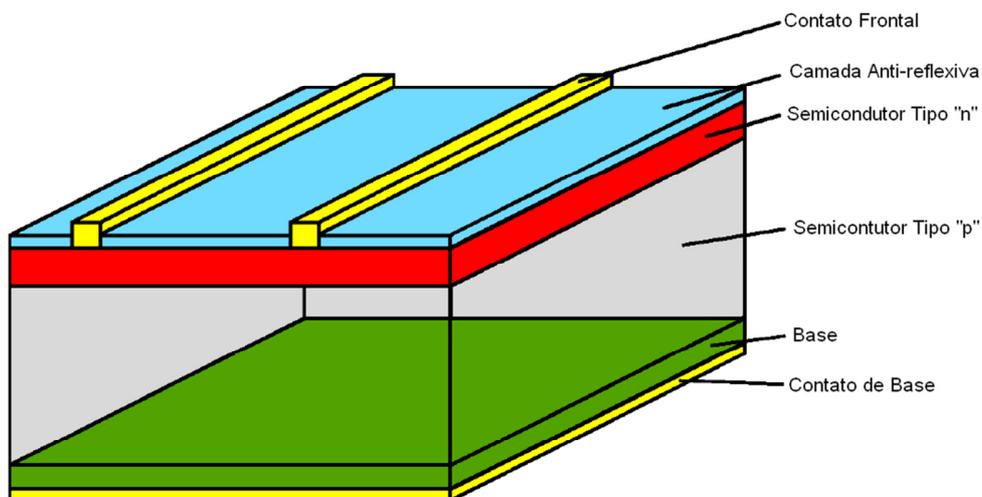


Figura 8 – Estrutura típica de célula solar fotovoltaica
 FONTE: GOETZBERGER E HOFFMANN, 2005 (ADAPTADO).

Quando a camada n é exposta à luz solar, ela passa a ser constantemente atingida por fótons, que transferem energia para os elétrons da camada de valência dos átomos do material semicondutor. Cada fóton pode transferir energia para apenas um elétron. Quando o fóton transfere energia suficiente para que o elétron da camada de valência dê um salto quântico, este deixa de fazer parte da eletrosfera do átomo de material semicondutor e pode mover-se livremente. Caso a energia transferida pelo fóton não seja suficiente para que o elétron avance para um nível mais energético, essa energia é convertida em energia cinética para o átomo e como consequência tem-se o aquecimento da célula solar. Em uma célula solar, os elétrons são atingidos por fótons de diferentes comprimentos de onda e transferem diferentes quantidades de energia para os elétrons da camada de valência dos átomos do material semicondutor, fazendo com que alguns deles tornem-se elétrons livres e outros apenas aqueçam a célula solar. À conversão de luz solar em eletricidade dá-se o nome de efeito fotovoltaico. (ŞEN, 2008)

Quando um átomo da camada n libera um elétron, tem-se uma lacuna na camada de valência do átomo e este passa a ter carga positiva. Elétrons da camada p são atraídos pelas cargas positivas da camada n e deixam suas camadas de valência da camada p para ocupar as lacunas existentes na camada n . Assim tem-se carga positiva na camada p devido à falta de elétrons e carga negativa na camada n devido ao excesso de elétron. (QUASCHNING, 2009).

Um átomo de silício possui quatro elétrons na sua camada de valência. Para estabelecer uma configuração elétrica estável similar à do gás nobre Argônio, os átomos de silício compartilham pares de elétrons, como mostrado na figura 9. Ao receber energia proveniente de um fóton, um elétron da camada de valência do átomo de silício desprende-se da eletrosfera do átomo e torna-se um elétron livre (figura 10).

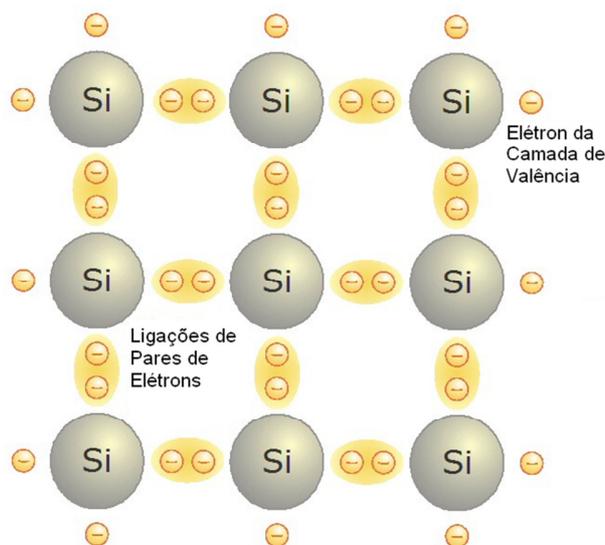


Figura 9 – Ligação entre átomos de silício
 FONTE: QUASCHNING 2009 (ADAPTADO)

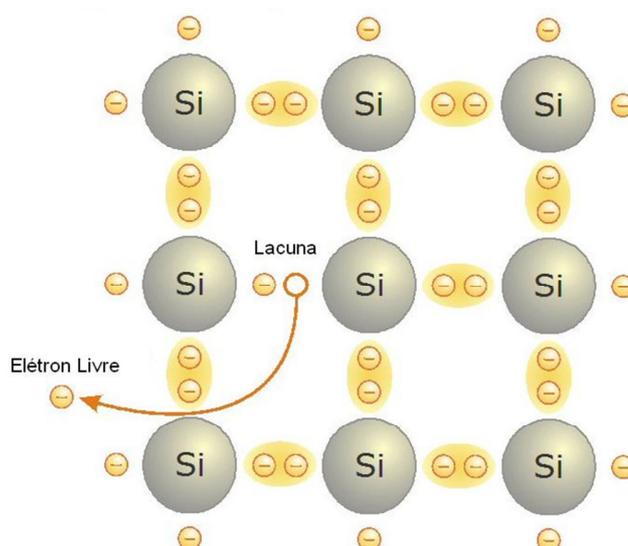


Figura 10 – Ligação entre átomos de silício (lacuna e elétron livre)
 FONTE: QUASCHNING 2009 (ADAPTADO)

Quando estabelecido um circuito elétrico com uma carga resistiva entre as camadas p e n , tem-se a circulação dos elétrons livres da camada n em direção as lacunas da camada p , como mostrado na figura 11.

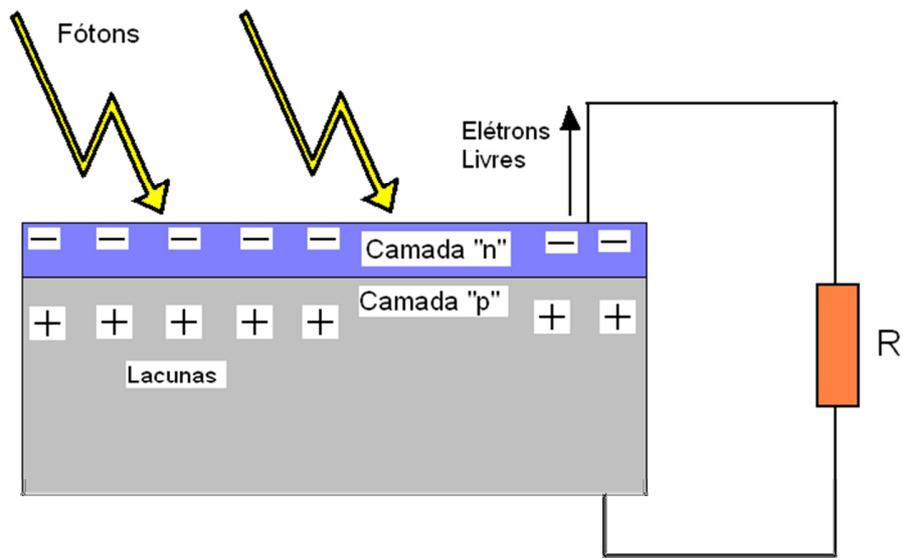


Figura 11 – Circuito de célula solar com carga resistiva
 FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

Apenas uma parte da irradiação solar incidente sobre uma célula solar fotovoltaica é convertida em eletricidade. Apenas fótons cuja energia é compatível com a energia necessária para o salto quântico dos elétrons da camada de valência são capazes de produzir corrente elétrica. Fótons que possuem uma quantidade de energia não compatível caracterizam perdas (queda de rendimento) para o sistema fotovoltaico. Outras perdas são provocadas pelos efeitos de reflexão e transmissão dos fótons, como mostrado na figura 12 a seguir.

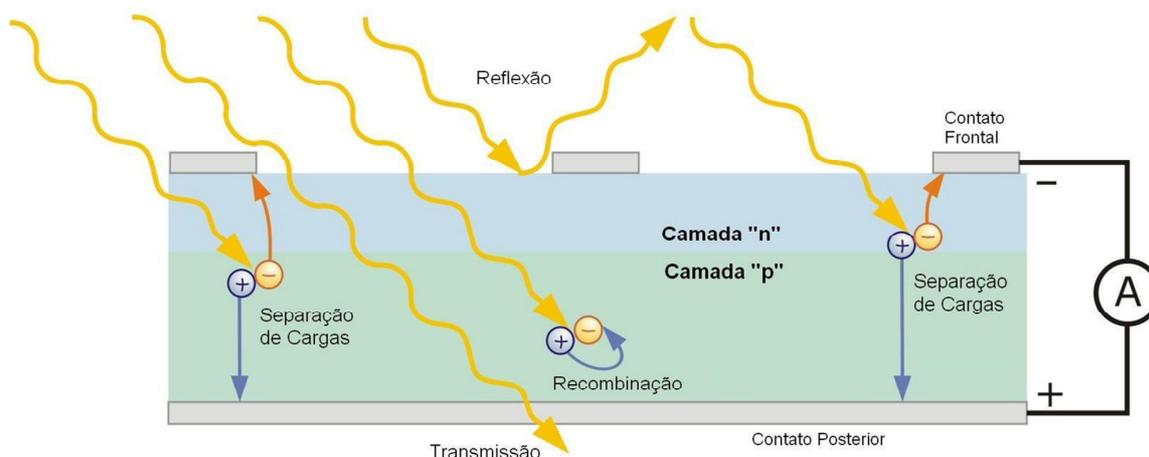


Figura 12 – Célula solar fotovoltaica sob irradiação solar
 FONTE: QUASCHNING 2009 (ADAPTADO)

As características construtivas de células solares são as mesmas de um diodo. Elas são compostas de duas camadas de material semicondutor (n e p) e uma região de depleção. O comportamento elétrico da célula solar pode ser representado, portanto, de maneira simples por um diodo em paralelo com uma fonte de corrente. (QUASCHNING, 2009).

Na figura 13, representa-se a célula solar como um circuito composto por uma fonte de corrente e um diodo em paralelo. Considerando a corrente de saturação do diodo (I_s) no sentido de bloqueio e o fator do diodo igual a m , escreve-se a equação da corrente da célula solar em função da tensão da célula (U):

$$I = I_{ph} - I_d = I_{ph} - I_s \cdot \left(e^{\left(\frac{U}{m \cdot U_t} \right)} - 1 \right) \quad [1]$$

onde:

I - Corrente fornecida pela célula

I_{ph} - Corrente produzida pelo efeito fotoelétrico

I_d - Corrente que percorre o diodo

I_s - Corrente de saturação inversa do diodo

U - Tensão nos terminais da célula

m - Fator de idealidade do diodo (igual 1 se o diodo for ideal, maior do que 1 para diodos não ideais)

U_t - Tensão térmica: $U_t = k \cdot \frac{T}{q}$ vale 25,7 mV em STC

k - Constante de Boltzmann igual a $1,38 \times 10^{-23}$ J/K

T - Temperatura absoluta da célula em Kelvin

q - Carga elétrica do elétron igual a $1,6 \times 10^{-19}$ C

STC - *Standard Test Conditions* – Condições padrão para testes. São elas: Irradiância de 1 kW/m^2 , massa de ar igual a 1,5 e Temperatura da célula igual a $25 \text{ }^\circ\text{C}$

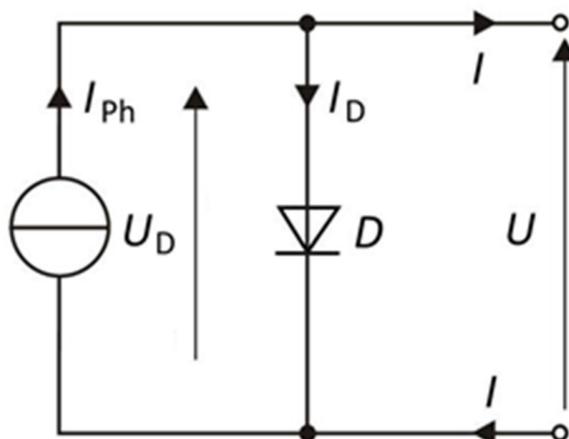


Figura 13 – Circuito equivalente da célula solar simplificado
 FONTE: QUASCHNING, 2009

A tensão térmica U_t é cerca de $25,7 \text{ mV}$ para uma temperatura de 25°C . A corrente de saturação é da ordem de 10^{-10} A . Para um diodo ideal, considera-se o fator de diodo m igual a 1. Pode-se tratar a corrente produzida pela fonte de corrente (I_{ph}) simplesmente pelo produto da intensidade de irradiação E por um coeficiente C . Sendo a corrente uma função da irradiação, podem-se traçar curvas que representam a influência da intensidade de irradiação nas características de tensão e corrente da célula solar, como mostrado no gráfico 2 a seguir. (QUASCHNING, 2009).

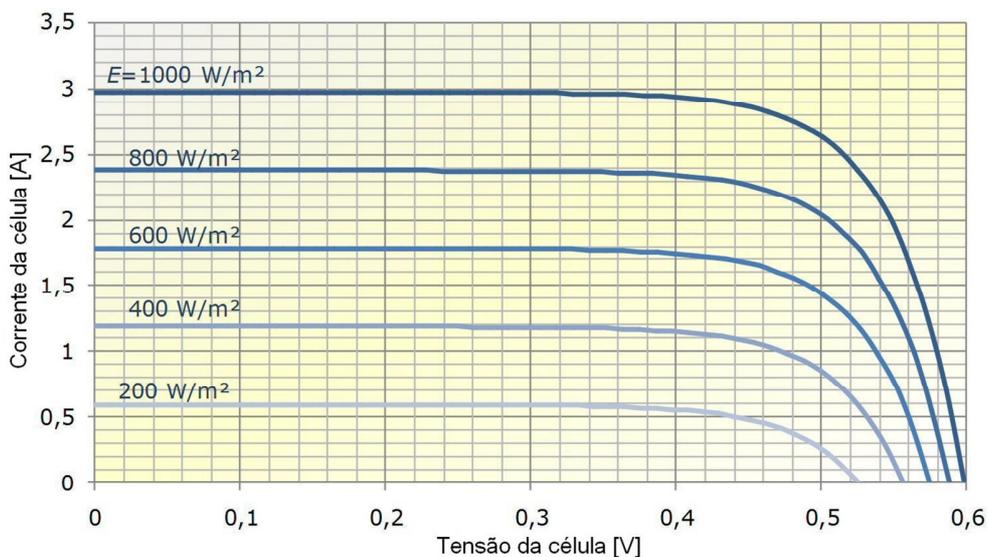


Gráfico 2 – Influência da irradiação na curva corrente versus tensão da célula solar
 FONTE: QUASCHNING 2009 (ADAPTADO)

A representação da célula solar por apenas uma fonte de corrente e um diodo apresenta um erro pequeno entre a curva calculada e a medida. Porém, para uma representação mais fiel do sistema, deve-se levar em consideração a perda de tensão que ocorre na condução de carga entre o material semiconductor e o contato externo. Essa perda de tensão pode ser representada por um resistor em série (R_s) com a célula fotovoltaica. Além disso, podem ser consideradas as fugas de corrente que ocorrem nas extremidades da célula solar. Essas correntes de fuga podem ser representadas por um resistor em paralelo (R_p) com a célula solar. Consideradas ambas as perdas descritas, representa-se o circuito equivalente da célula solar como mostrado na figura 14 a seguir.

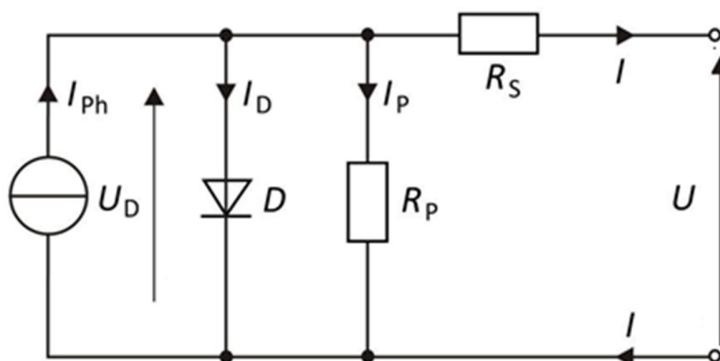


Figura 14 – Circuito equivalente da célula solar com resistência série e paralelo
 FONTE: QUASCHNING, 2009

Em células solares convencionais o valor da resistência série é da ordem de $m\Omega$ enquanto a resistência paralelo é normalmente superior a 10Ω . Ao modificar os valores das resistências série e paralelo, obtêm-se novas curvas de corrente versus tensão da célula solar. O gráfico 3 mostra o efeito causado pela variação da resistência série, enquanto a gráfico 4 mostra o efeito causado pela variação da resistência paralelo na curva característica da célula solar. Aplicando-se a Lei de Kirchoff dos Nós no circuito da figura 14, tem-se:

$$0 = I_{ph} - I_d - I_p - I \quad [2]$$

Sendo I_p definido por:

$$I_p = \frac{(U_d)}{(R_p)} = \frac{(U + R_s \cdot I)}{(R_p)} \quad [3]$$

Define-se, então, a equação da célula solar considerando as resistências série e paralelo da seguinte forma:

$$0 = I_{ph} - I_s \cdot \left(e^{\left(\frac{(U + I \cdot R_s)}{(m \cdot U_T)} \right)} - 1 \right) - \frac{(U + I \cdot R_s)}{(R_p)} - I \quad [4]$$

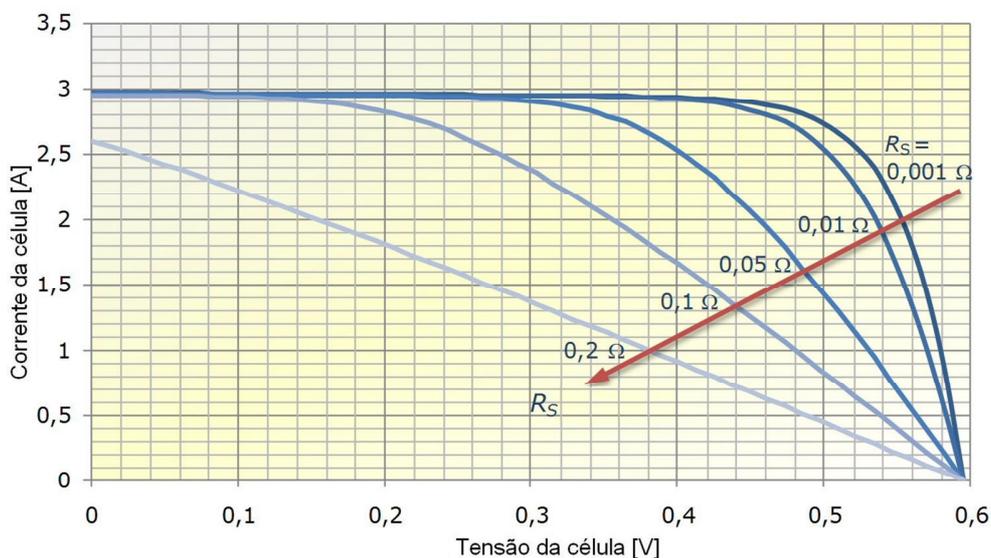


Gráfico 3 – Influência da variação da resistência série
 FONTE: QUASCHNING, 2009 (ADAPTADO)

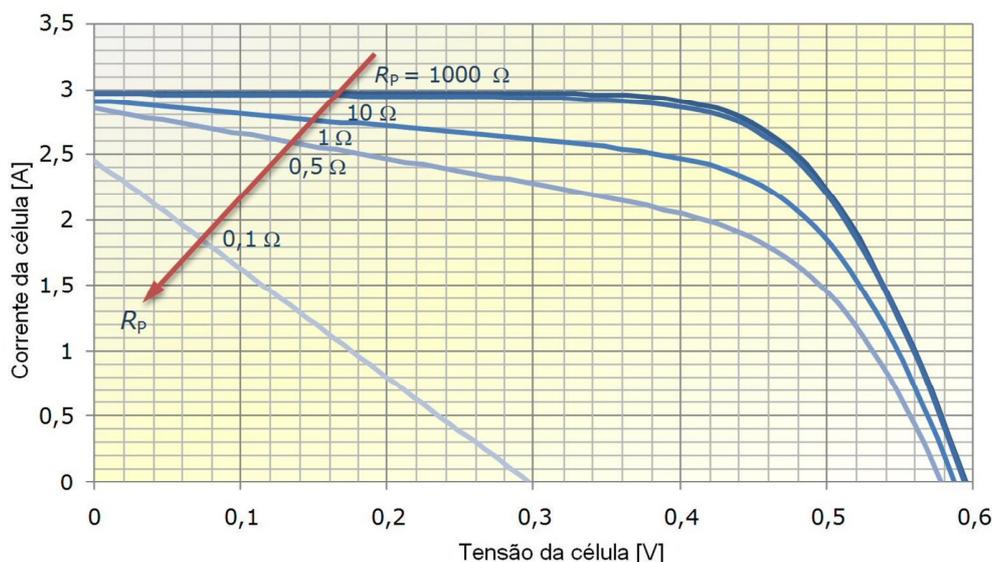


Gráfico 4 – Influência da variação da resistência paralelo
 FONTE: QUASCHNING, 2009 (ADAPTADO)

Existem diversos tipos de células solares fotovoltaicas. Cada tecnologia apresenta características elétricas próprias. As características elétricas mais utilizadas para descrever o comportamento da célula são mostradas na tabela 7 a seguir:

Referência	Unidade	Esclarecimento
Tensão de circuito aberto	[V]	Tensão obtida nos terminais da célula em circuito aberto (<i>STC</i>)
Corrente de curto circuito	[A]	Corrente de curto circuito da célula (<i>STC</i>)
Tensão <i>MPP</i> *	[V]	Tensão da célula quando esta opera no ponto de máxima potência (<i>STC</i>)
Corrente <i>MPP</i> *	[A]	Corrente da célula quando esta opera no ponto de máxima potência (<i>STC</i>)
Potência <i>MPP</i> *	[Wp]	Potência máxima da célula (<i>STC</i>)
Rendimento	%	Porcentagem da energia irradiante que é convertida em energia elétrica

**MPP* - *Maximum power point* - Ponto de máxima potência

Tabela 7 – Características elétricas de uma célula solar
 FONTE: QUASCHNING, 2009 (ADAPTADO)

O ponto de máxima potência, citado na tabela anterior, é o ponto no qual a célula fornece a maior quantidade de potência possível. O gráfico 5 apresenta, em azul, a curva característica corrente versus tensão da célula solar e, em vermelho, a curva potência versus tensão da célula solar. No mesmo gráfico, em laranja, tem-se as linhas que definem os

valores de corrente e tensão do ponto de máxima potência (MPP), também marcado no gráfico.

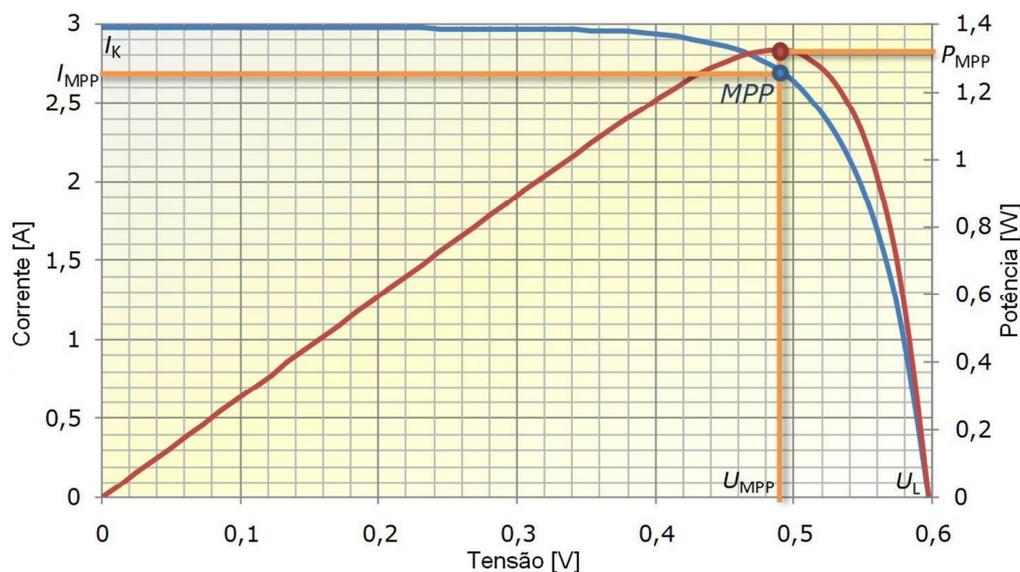


Gráfico 5 – Ponto de máxima potência da célula solar
 FONTE: QUASCHNING, 2009 (ADAPTADO)

Além das características elétricas, outro fator é utilizado para avaliar a qualidade das células solares. Esse fator é denominado fator de preenchimento (F_p) e quantifica a semelhança da curva corrente versus tensão da célula com o retângulo de máxima potência, mostrado na cor laranja no gráfico anterior. O valor de F_p é sempre menor do que um e pode ser calculado segundo a seguinte equação:

$$F_p = \frac{(P_{mpp})}{(U_L \times I_K)} = \frac{(U_{mpp} \times I_{mpp})}{(U_L \times I_K)} \quad [5]$$

No cálculo de F_p são utilizados os valores de tensão de circuito aberto (U_L) e corrente de curto-circuito (I_K). O ponto de máxima potência da célula solar também é utilizado no cálculo do rendimento da célula. O rendimento relaciona a máxima potência que a célula pode fornecer com a potência fornecida à célula em forma de irradiação solar. Seu valor significa o percentual de energia solar incidente que é transformado em energia elétrica pela célula. O cálculo do rendimento pode ser feito segundo a equação a seguir:

$$\eta = \frac{(P_{mpp})}{(ExA)} = \frac{(F_p \times U_L \times I_K)}{(ExA)} \quad [6]$$

O rendimento de células solares varia de acordo com o material constituinte e aspectos construtivos. A Tabela 8 a seguir apresenta alguns exemplos de células solares e seus respectivos rendimentos máximos já obtidos. Algumas tecnologias estão referenciadas apenas em inglês.

Referência	Rendimento Máximo	Descrição
Mono-Si	24,7%	silício Monocristalino
Poly-Si	20,3%	silício Policristalino
SR-Si	17,8%	string ribbon silicon
EFG-Si	18,2%	edge-defined film-fed growth silicon
μ c-Si	11,0%	silício microcristalino
a-Si	12,1%	silício amorfo
CdS / CdTe	16,5%	sulfeto de cádmio / telureto de cádmio
CIS / CIGS	20,0%	disseleneto de cobre índio / disseleneto de cobre índio gálio

Tabela 8 – Rendimento máximo de diferentes tipos de células

FONTES: QUASCHNING, 2009 (ADAPTADO)

3.3 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

As células solares fornecem tensão e corrente insuficientes para a alimentação da maioria das cargas. Por esse motivo, associam-se as células solares formando módulos. Usualmente são associadas cerca de 32 a 40 células com o objetivo de fornecer tensão necessária para o carregamento de baterias de chumbo ácido de 12 V. Podem ser utilizados também módulos que contém uma quantidade menor de células ou uma quantidade expressivamente maior de células, o número de células associadas varia conforme a aplicação. (QUASCHNING, 2009).

A figura 15 e a figura 16 ilustram, respectivamente, uma representação em símbolos da associação de células solares e a mesma associação em um módulo de células cristalinas. Na figura 15 observa-se que a corrente elétrica é a mesma para todas as células e a tensão elétrica nos terminais extremos é equivalente à soma das tensões individuais das células.

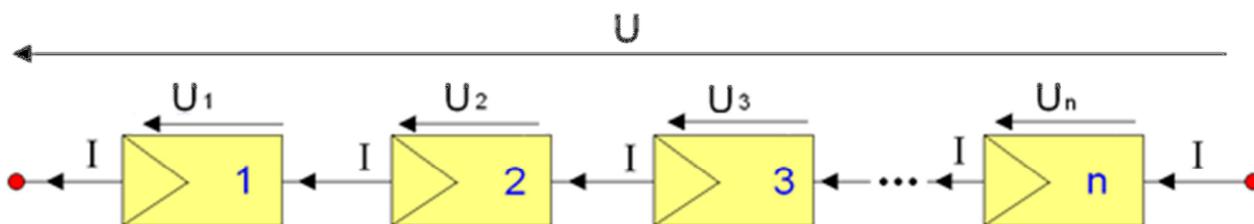


Figura 15 – Associação de células – representação em símbolos
 FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

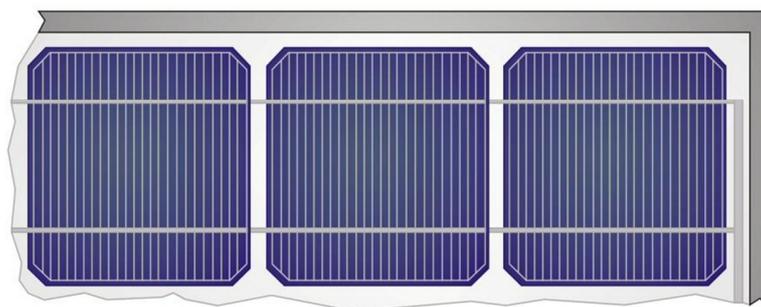


Figura 16 – Associação de células cristalinas
 FONTE: QUASCHNING, 2009

A curva característica corrente versus tensão do módulo é semelhante à curva das células. Cada célula contribui com um aumento da tensão terminal podendo ser possível ilustrar essa contribuição individual, conforme mostrado no gráfico 6 a seguir.

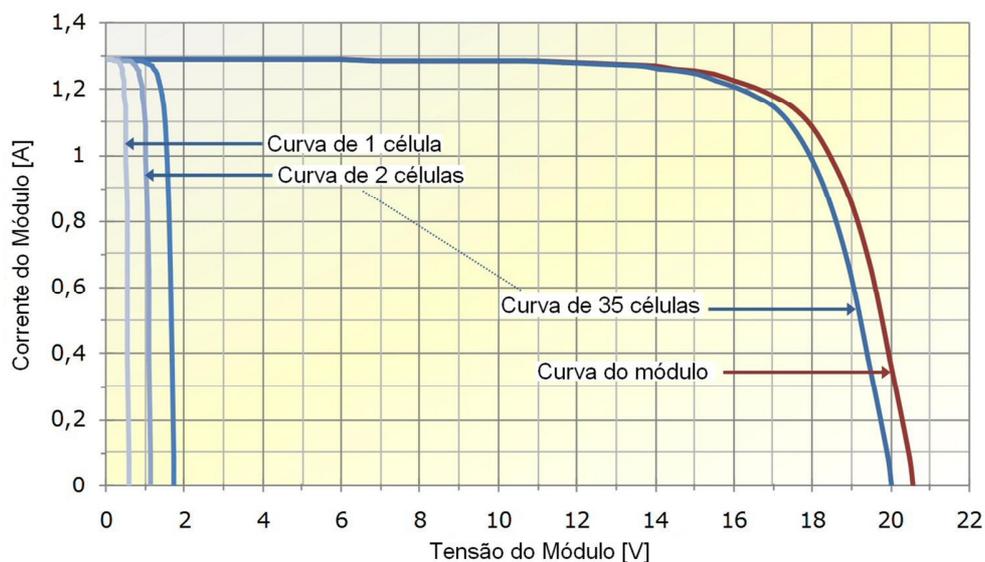


Gráfico 6 – Contribuição individual das células na curva do módulo
 FONTE: QUASCHNING, 2009 (ADAPTADO)

As características elétricas que são apresentadas com o objetivo de descrever o comportamento dos módulos são as mesmas usadas para as células. A figura 17 a seguir é parte do catálogo de produtos marca *Kyocera* e apresenta as características elétricas de alguns dos módulos vendidos pela empresa.



	KD240GX-LFB	KD235GX-LFB	KD230GX-LFB	KD215GX-LFBS	KD210GX-LFBS	KD205GX-LFBS	KD185GX-LFBS	KD135GX-LFBS
Maximum Power	240W	235W	230W	215W	210W	205W	185W	135W
Number of Cells	60	60	60	54	54	54	48	36
Tolerance	+5%/-3%	+5%/-3%	+5%/-3%	+5%/-3%	+5%/-3%	+5%/-3%	+5%/-5%	+5%/-5%
Maximum System Voltage	600V	600V	600V	600V	600V	600V	600V	600V
Maximum Power Voltage	29.8V	29.8V	29.8V	26.6V	26.6V	26.6V	23.6V	17.7V
Maximum Power Current	8.06A	7.89A	7.72A	8.09A	7.90A	7.71A	7.84A	7.63A
Open Circuit Voltage	36.9V	36.9V	36.9V	33.2V	33.2V	33.2V	29.5V	22.1V
Short Circuit Current	8.59A	8.55A	8.36A	8.78A	8.58A	8.36A	8.58A	8.37A
Series Fuse Rating	15A	15A	15A	15A	15A	15A	15A	15A
Length	65.4"	65.4"	65.4"	59.1"	59.1"	59.1"	52.7"	59.1"
Width	39.0"	39.0"	39.0"	39.0"	39.0"	39.0"	39.0"	26.3"

Figura 17 – Características dos módulos *Kyocera*
 FONTE: KYOCERA SOLAR, 2010

3.4 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Os sistemas fotovoltaicos podem ser divididos em dois grupos: os sistemas isolados e os sistemas conectados à rede elétrica.

3.4.1 SISTEMAS FOTOVOLTACOS ISOLADOS

Os sistemas fotovoltaicos isolados não possuem conexão com a rede elétrica das concessionárias de energia. Há diversas aplicações para sistemas isolados, elas variam desde pequenas calculadoras ou pequenos circuitos alimentados em corrente contínua até o fornecimento de energia elétrica para populações afastadas das redes elétricas das

concessionárias. Módulos fotovoltaicos são apenas capazes de fornecer energia elétrica quando há irradiação solar incidindo sobre eles. Para alimentar cargas em momentos onde não há irradiação (por exemplo, durante a noite), utilizam-se acumuladores de energia. Durante o dia, o módulo alimenta as cargas e carrega um banco de baterias. Durante a noite as cargas são alimentadas pelo banco de baterias. (GOETZBERGER e HOFFMANN, 2005).

Para alimentar cargas convencionais independentemente da existência momentânea de irradiação solar sobre os módulos, um sistema isolado normalmente é composto por:

- Módulos Fotovoltaicos: os módulos devem ser instalados, preferencialmente, voltados na direção norte (se o sistema for instalado no hemisfério sul), com uma inclinação calculada para que a incidência de irradiação solar seja otimizada para os meses de menor irradiação solar e devem ser evitadas quaisquer sombras sobre os módulos;
- Inversor: é o equipamento que converte as grandezas contínuas fornecidas pelos módulos ou pelo banco de baterias em grandezas alternadas, necessárias para a alimentação da maioria das cargas;
- Banco de baterias: deve ter capacidade suficiente para suprir a demanda de energia durante os períodos onde não há irradiação solar suficiente para o funcionamento dos módulos;
- Controlador de carga: equipamento que monitora a tensão das baterias, garantindo que o carregamento seja feito conforme a curva de carga da bateria utilizada.

A principal vantagem da utilização de sistemas isolados é que, quando corretamente dimensionados e instalados, fornecem energia elétrica com uma alta confiabilidade, pois não estão sujeitos às falhas das redes de transmissão e distribuição da concessionária. O maior problema desse sistema é a incompatibilidade entre as vidas úteis de cada um dos equipamentos, principalmente entre os módulos fotovoltaicos (vida útil acima de 20 anos) e as baterias (cerca de 2 a 4 anos para baterias de chumbo ácido).

3.4.2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE

A constituição básica de um sistema fotovoltaico conectado a rede é mais simples do que a de um sistema isolado. A confiabilidade do sistema está vinculada à confiabilidade da rede da concessionária, portanto não são necessários o banco de baterias nem o controlador de carga.

Os sistemas conectados à rede fornecem à mesma, com toda a energia disponibilizada pelos módulos fotovoltaicos, garantindo uma alta produtividade. Outra vantagem desse tipo de sistema é a vida útil elevada devido à ausência de baterias (URBANETZ, 2010)

O fornecimento de energia para a rede elétrica e a proximidade entre a geração e o consumo, caracterizam esses sistemas como geração distribuída. Esse tipo de geração já é muito utilizado em vários países, principalmente na Europa. Em alguns países já existem legislações específicas para este tema e há um incentivo para que esta seja feita com a utilização de fontes renováveis. Na Alemanha, por exemplo, foi estabelecida a *EEG - Erneuerbare Energie Gesetz* (Lei de Energias Renováveis). Essa lei regulamenta e estabelece incentivos para o uso de energias renováveis. O proprietário de uma fonte alternativa de energia pode vender a energia gerada à concessionária. O preço é tabelado e varia de acordo com a fonte alternativa utilizada.

No Brasil a geração distribuída foi legalmente reconhecida pela primeira vez no dia 15 de março de 2004 com a Lei nº 10.848. Antes disso a geração distribuída não possuía restrições legais. A regulamentação foi definida primeiramente com o Decreto nº 5.163 de 30 de julho de 2004.

Sistemas de geração distribuída que utilizam fontes alternativas de energia apresentam diversas vantagens em relação ao sistema convencional de geração, entre elas:

- Economia com custos de transmissão e distribuição;
- O tempo de instalação é reduzido;
- Redução de impactos ambientais;
- Diversificação da matriz energética, minimizando a dependência de uma única fonte de energia;
- Viabilização do emprego de fontes renováveis de energia elétrica;
- Viabilização de unidades geradoras de pequeno porte.

Porém, para que sejam implantados sistemas desse tipo, algumas questões técnicas devem ser contempladas. Um sistema de geradores conectados à rede elétrica da concessionária não deve apresentar riscos à segurança da rede e dos demais consumidores, deve garantir a qualidade da energia elétrica fornecida, não deve comprometer o sistema de proteção da rede da concessionária e deve proteger a si mesmo em caso de falhas no funcionamento ou falhas externas.

Outra questão largamente discutida é o fenômeno de ilhamento. Este fenômeno ocorre quando há uma falta por parte da concessionária e o gerador distribuído continua a alimentar um ramo do sistema. Isso pode comprometer a segurança da equipe responsável pela manutenção da rede, uma vez que algumas áreas permanecem energizadas sem o conhecimento da concessionária. A qualidade da energia do ramo ilhado também estará fora do controle da concessionária e as proteções contra sobrecorrente da concessionária podem não atuar corretamente devido à mudança no nível de curto-circuito nesse ponto. (PITOMBO, 2010). Este problema é mais significativo em geradores síncronos. Os inversores para sistemas fotovoltaicos conectados à rede operam em modo de corrente, tendo como referencial a tensão da rede. Em caso de falha da rede, o inversor perde o referencial e é desligado. As proteções existentes nos inversores comercializados atualmente são suficientes para a inibição do problema. Inversores para sistemas fotovoltaicos conectados à rede são amplamente utilizados na Europa.

3.5 POTENCIAL ENERGÉTICO

A energia solar fotovoltaica representa uma das soluções para o suprimento da crescente demanda de energia elétrica sem que haja a degradação do meio ambiente e tornando o sistema independente de recursos não renováveis como os combustíveis fósseis. No Brasil em 2010, segundo dados do Balanço Energético Nacional, a participação de energias renováveis na produção de energia elétrica foi cerca de 85%, incluindo a energia hidráulica que contribui com 76,9% da oferta interna de energia elétrica. No ano de 2009 a potência instalada brasileira apresentou um acréscimo de aproximadamente 2 GW, alcançando a marca de 106.215 MW somando centrais geradoras de serviço público e autoprodutores. Novas centrais hidráulicas correspondem a 67,4% desse acréscimo, centrais

térmicas correspondem a 23,6 e usinas eólicas correspondem a 8,9%. O Balanço Energético Nacional não traz dados sobre a geração fotovoltaica brasileira.

Conforme consta no Atlas Brasileiro de Energia Solar, a média anual da irradiação global incidente diariamente no país varia conforme a região do país variando entre 5,2 kWh/m² (média registrada na região sul) e 5,9 kWh/m² (média registrada na região nordeste). A figura 18 apresenta a média anual de irradiação global diária para cada região do país. O gráfico 7 e o gráfico 8 apresentam as médias sazonais de cada região no período de inverno e verão, respectivamente.

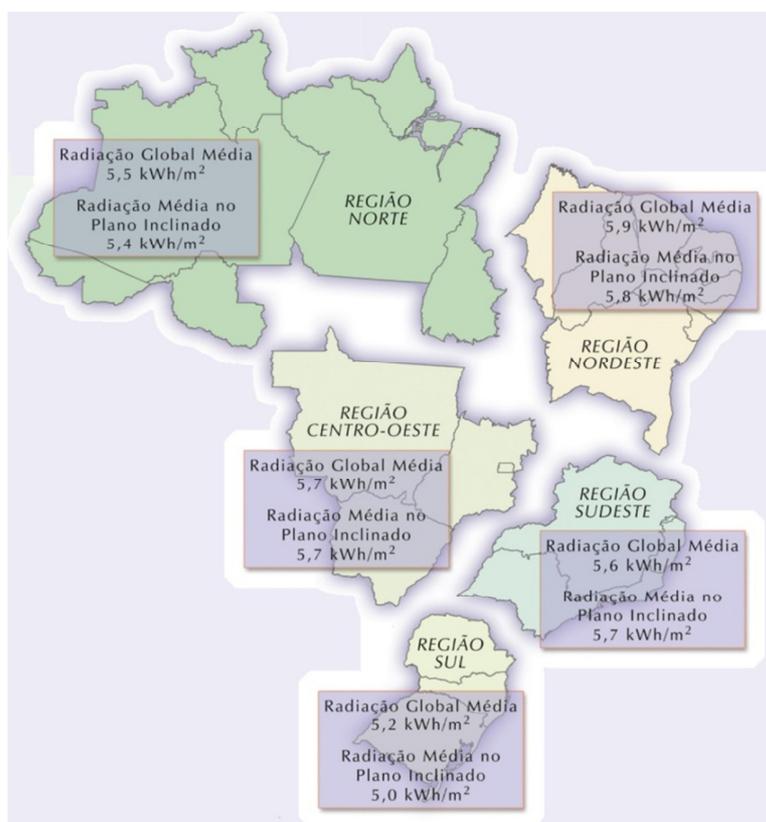


Figura 18 – Médias anuais de irradiação global
FONTE: ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 2006

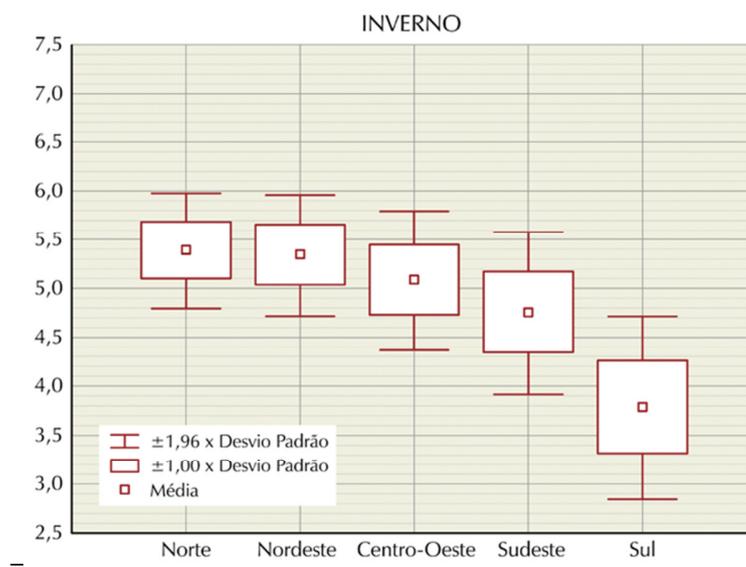


Gráfico 7 – Médias sazonais de irradiação global (inverno)
 FONTE: ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 2006

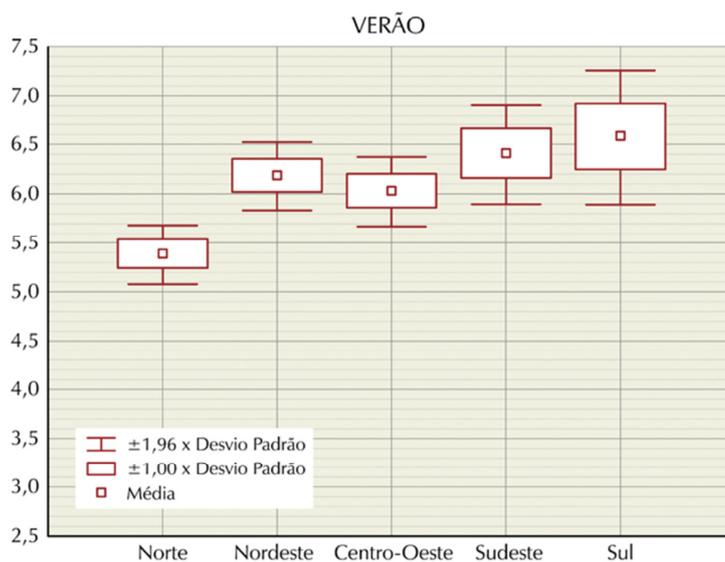


Gráfico 8 – Médias sazonais de irradiação global (verão)
 FONTE: ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 2006

O Brasil possui um enorme potencial de geração de energia elétrica a partir de sistemas fotovoltaicos. Segundo Rüter (2004, p76) “O potencial da energia solar fotovoltaica no Brasil é muitas vezes superior ao consumo total de energia elétrica do país.” Sendo o Brasil um país cuja matriz energética já é predominantemente renovável, este deve intensificar ainda mais seus projetos nessa área e criar leis de incentivo, a exemplo da Alemanha.

4. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

A montagem do protótipo foi iniciada pela estrutura de desinfecção no mês de abril de 2011 em parceria com o Grupo de Pesquisa Estratégica em Energia Solar da Universidade Federal de Santa Catarina (FV-UFSC). Alguns dos integrantes desse grupo participaram da montagem de um sistema semelhante. Eles auxiliaram esta etapa do projeto compartilhando sua experiência e fornecendo materiais para a montagem. Em seguida foi feito o projeto da regulação de tensão e do sistema de proteção da água descontaminada. A montagem dessa etapa foi realizada em sua maior parte no laboratório de Eletrotécnica B-003 da Universidade Tecnológica Federal do Paraná entre os meses de junho e setembro de 2011.

O sistema completo de desinfecção é ilustrado na figura 19 e consiste em um reservatório de água contaminada ligado à extremidade de entrada da estrutura de desinfecção. Essa estrutura tem um formato tubular e possui em seu interior uma lâmpada germicida ultravioleta, que é responsável pela ação de desinfecção da água. Uma calha de alumínio é utilizada para intensificar o efeito germicida. A lâmpada UV é acionada por um reator alimentado com energia produzida por um módulo fotovoltaico. Para manter a tensão na faixa adequada, há um circuito de regulação ligada na saída do módulo e que alimenta todo o sistema de desinfecção.

A vazão de água entra por uma das extremidades do tubo, sofre incidência de radiação ultravioleta germicida e deixa o tubo pela outra extremidade. Na entrada do tubo, há uma válvula que controla o fluxo da água descontaminada para um reservatório. Para o acionamento dessa válvula há um circuito de controle que consiste em um relé e um fotosensor dentro do tubo, que indica se a lâmpada está funcionando ou se está apagada. Se a lâmpada estiver acesa, então a água está sendo desinfetada e a válvula é aberta permitindo que esta água seja armazenada no reservatório de saída. Se a lâmpada estiver apagada, a ação germicida não está ocorrendo, a válvula estará fechada e a água contaminada não será conduzida para o interior do tubo.

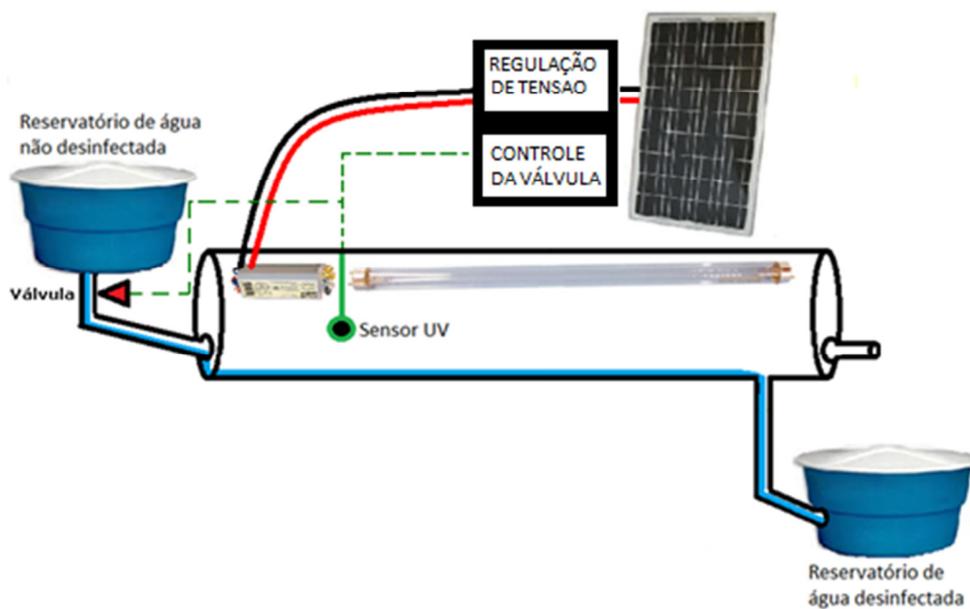


Figura 19 – Sistema de desinfectação
FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

4.1 MONTAGEM DA ESTRUTURA DE DESINFECÇÃO

A estrutura montada é mostrada na figura a seguir (figura 20).



Figura 20 – Estrutura montada
FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

Materiais e ferramentas utilizados:

- 1 tubo de PVC DN 100 mm de diâmetro e 1,40 m de comprimento;
- 1 Te curto de PVC DN 100 mm de diâmetro;
- 3 flanges;
- 3 Caps;
- 1 calha de alumínio de 1,40 m de comprimento;
- 1 lâmpada tubular germicida modelo T8 30 W, marca G-Light com 89,5 cm de comprimento;
- 1 reator 30 W / 12 V para alimentar a lâmpada;
- 1 módulo fotovoltaico 85 W - Kyocera KC85T;
- 2 terminais garfo 5mm;
- 2 m de comprimento de fio flexível vermelho;
- 2 m de comprimento de fio flexível preto;
- 2 soquetes para lâmpadas fluorescentes base G13 – conector plug;
- 2 abaçadeiras para lâmpada fluorescente;
- 4 parafusos com porcas e arruelas;
- Alicate universal;
- Furadeira;
- Brocas;
- Serra copo;
- Trena;
- Chave de fenda;
- Fita isolante;
- Segueta;
- Estilete;
- Ferro de solda;
- Estanho.

A montagem do protótipo foi dividida em quatro etapas, descritas a seguir.

1ª Etapa: Fixação do reator e da lâmpada à calha

Foram feitos furos na calha de alumínio para a fixação do reator e das abraçadeiras para a lâmpada (figura 21). As posições dos furos são mostradas no esquema apresentado na figura 22.



Figura 21 – Furação da calha para a fixação de abraçadeiras e reator
 FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

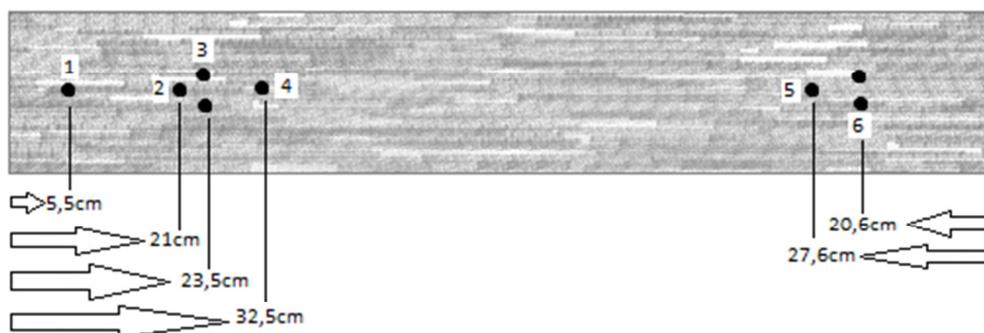


Figura 22 – Posicionamento dos furos da calha
 FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

As abraçadeiras foram fixadas nos pontos 4 e 5 (figura 22), o reator foi parafusado entre 1 e 2 e os fios flexíveis foram passados pelos pontos 3 e 6 e conectados ao reator. A lâmpada tubular pode, então, ser instalada e fixada com as abraçadeiras. A calha de alumínio foi deformada para poder ser introduzida no tubo de PVC (figura 23).



Figura 23 – Calha de alumínio com reator e lâmpada
FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

2ª Etapa: Introdução da calha no interior do tubo de PVC

A calha, juntamente com a lâmpada e o reator, foi inserida no tubo de PVC (figura 24).



Figura 24 – Interior do tubo de PVC
FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

3ª Etapa: Entrada de água

Por questões de segurança, o sistema de desinfecção deve ser abrigado. A exposição frequente à radiação ultravioleta pode causar danos à pele e aos olhos. Para isso são utilizados *caps*. O *cap* para a entrada de água foi marcado com uma caneta utilizando a flange como molde. Foi feita a perfuração com uma serra copo, permitindo o encaixe da flange. Para a passagem dos fios de alimentação do reator, foi feito um furo adicional no *cap* como mostra a figura 25.



Figura 25 – Passagem de fios pelo *cap*
FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

4ª Etapa: Saída de água

Na extremidade do tubo responsável pela saída da água foi utilizado um Te. Para a montagem do Te, perfuraram-se dois *caps*, adicionando uma flange a cada um deles. Um dos *caps* conduz a saída de água desinfetada e o outro funciona como escape, impedindo que o nível de água alcance a lâmpada (no caso de um eventual entupimento da saída). A figura 26 mostra o Te pronto para ser acoplado no tubo de PVC.



Figura 26 – Te pronto para ser acoplado no tubo de PVC
FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

Para efeito de teste, o reator foi alimentado a partir de uma fonte de tensão contínua em 12 V. A figura 27 mostra a lâmpada ultravioleta acesa.

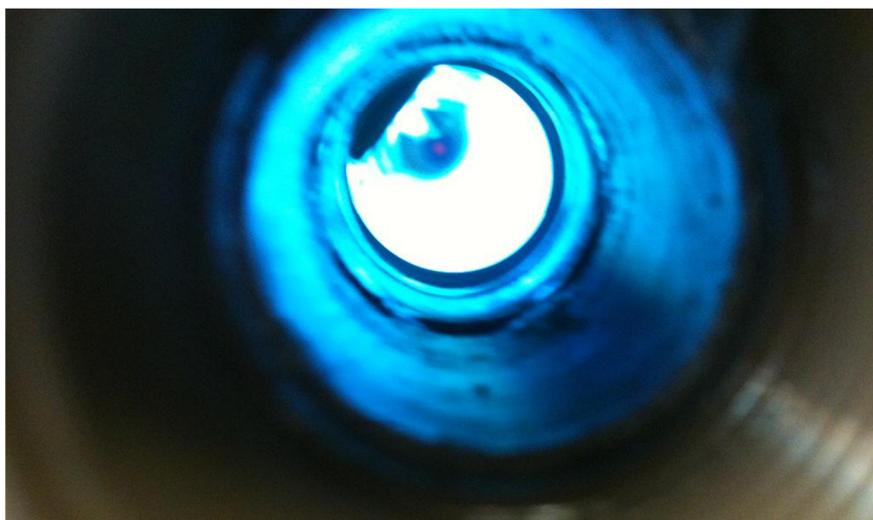


Figura 27 – Lâmpada UV em funcionamento
FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

4.2 REGULAÇÃO DE TENSÃO

A tensão do módulo fotovoltaico varia de acordo com a carga instalada e a irradiância solar. Para alimentar o reator da lâmpada e a válvula solenóide necessita-se de uma tensão constante de 12 V. Um circuito regulador de tensão foi utilizado para manter o nível de tensão em 12 V. A escolha dos componentes foi feita de acordo com a corrente de saída do módulo fotovoltaico, que chega a no máximo 5,02 A em curto circuito. Para a montagem desse circuito foram utilizados os seguintes componentes:

- 1 regulador linear ajustável, LM1084;
- 1 resistor de 2,1 k Ω ;
- 1 resistor de 240 Ω ;
- 2 capacitores de tântalo 10 μ F/25V;
- 1 placa padrão 10x15 cm;
- Dissipador de calor BR515.

O esquema do circuito de regulação da tensão está ilustrado na figura 28.

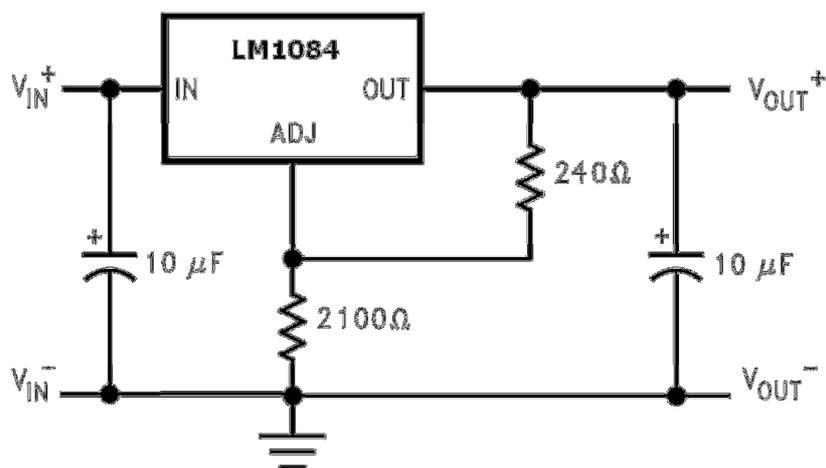


Figura 28 – Esquema do circuito de regulação da tensão
FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

O componente LM1084 é um regulador linear ajustável que suporta correntes de até 5 A. Em funcionamento, este componente apresenta uma tensão constante fixa entre os

terminais ADJ e OUT de 1,25 V. A tensão de saída desejada é de 12 V, oito vezes maior do que a tensão de referência. Para obter essa tensão foi aplicada uma resistência de 240 Ω entre os terminais ADJ e OUT e outra resistência de 2100 Ω (aproximadamente oito vezes maior). O valor de 2100 Ω foi definido em testes práticos utilizando-se um potenciômetro para variar a resistência e medindo-se a tensão de saída até encontrar o valor desejado. O circuito utilizado nos testes é mostrado na figura 29.

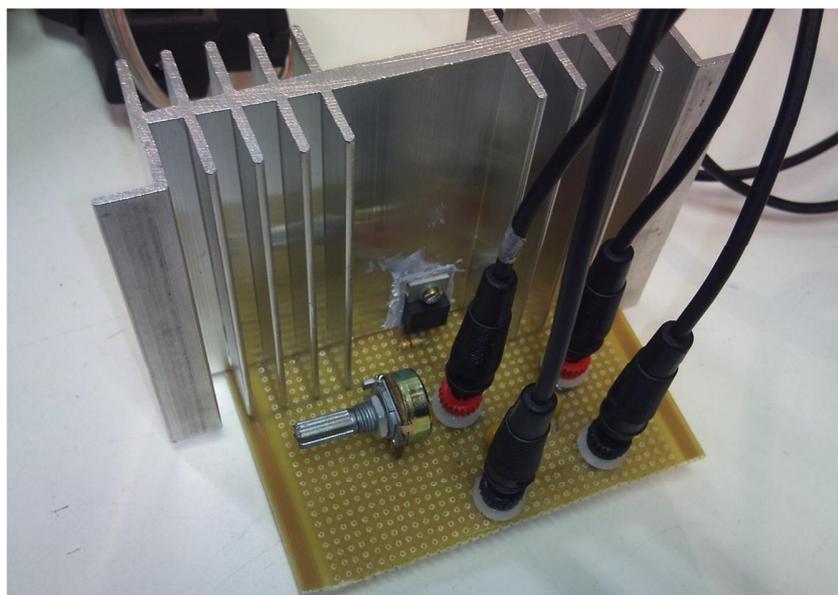


Figura 29 – Circuito de regulação da tensão
FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

4.3 ACIONAMENTO DA VÁLVULA E SENSOR UV

Para impedir que a água infectada seja misturada à água desinfetada, foi criado um circuito de acionamento da válvula. Este sistema controla o acionamento da válvula conforme o funcionamento da lâmpada.

Para a montagem foram usados os seguintes componentes eletrônicos:

2 transistores BC547;

1 LED bicolor;

1 fototransistor (sensor UV);

1 relé AT1RC2 de 15 A e 12 V;

1 resistor de 100 Ω ;

2 resistores de 1k Ω ;

- 1 placa padrão 10x15 cm (a mesma placa do circuito de regulação);
- 1 válvula solenóide Klein CF0136 / 12V – DC.

O circuito do sistema é apresentado na figura 30.

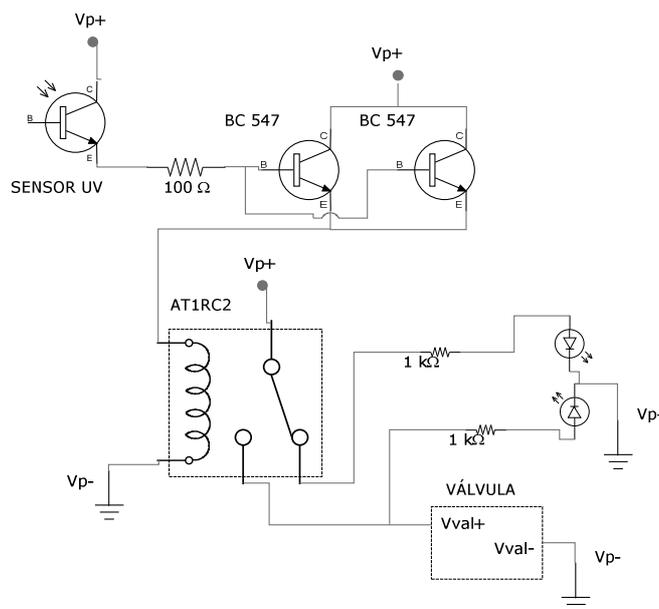


Figura 30 – Circuito de acionamento da válvula
 FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

O funcionamento do sistema inicia com o sensor UV que está posicionado no interior do tubo de desinfecção. Este sensor irá detectar se a lâmpada está acesa ou apagada. Se a lâmpada estiver funcionando normalmente, o sensor envia um sinal, que é amplificado pelos dois transistores, para o relé que irá chavear e alimentar a válvula. Como a válvula é do tipo normalmente fechada, ao receber alimentação de 12V do relé, irá abrir possibilitando o fluxo de água para o interior do tubo. O LED bicolor indicará o funcionamento correto da lâmpada acendendo a cor verde. Se a lâmpada apagar, o sensor não enviará mais o sinal para o relé, que irá chavear cortando a alimentação da válvula, fazendo a mesma fechar e interromper o fluxo de água para o interior do tubo. Nesse caso, o LED bicolor permanecerá apagado (caso o circuito esteja desligado) ou acenderá vermelho (caso a lâmpada esteja operando com baixa potência ou esteja com defeito). O

circuito de acionamento da válvula é mostrado na figura 31 e a válvula solenóide é mostrada na figura 32.



Figura 31 – Circuito de acionamento da válvula
FONTE: AUTORIA PRÓPRIA



Figura 32 – Válvula solenóide
FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

Os circuitos de acionamento da válvula e regulação de tensão foram agregados em uma única estrutura, ilustrada na figura 33. O par de bornes superior é a entrada de tensão do módulo fotovoltaico, o par do meio é a saída de tensão regulada 12V para alimentação do reator da lâmpada e o par de bornes inferior é a saída para alimentação da válvula solenóide. O LED bicolor permanece apagado quando o circuito está desligado, acende verde em caso de funcionamento normal e acende vermelho caso a lâmpada ultravioleta não esteja funcionando. Uma chave de duas posições foi instalada para permitir o ligamento e desligamento do circuito. O circuito descrito foi confeccionado e ensaiado no laboratório B-003 da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.



Figura 33– Equipamento de regulação e proteção
FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

5. ANÁLISE DA ÁGUA E RESULTADOS OBTIDOS

A fim de verificar a eficiência do sistema, devem-se realizar análises dos parâmetros da água antes e depois da desinfecção. Foram feitas análises da água do córrego da UFSC no Laboratório Integrado de Meio Ambiente do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina. Os testes realizados nesse laboratório foram pagos com verba recebida do CNPq pelo Grupo de Pesquisa Estratégica em Energia Solar da Uniersidade Federal de Santa Catarina (FV-UFSC). Cada

teste custa aproximadamente R\$ 400,00 e tem como resultado um laudo do laboratório onde constam as quantidades de coliformes totais, coliformes fecais, pH, a turbidez e a cor da água analisada. Um laudo de análise de água feito por este laboratório é apresentado no anexo 8.1 LAUDO DE ANÁLISE DE ÁGUA.

Como foram necessários muitos testes de água, buscou-se uma solução com menor custo. Utilizaram-se então kits para análise de água da empresa IDEXX. O kit denominado Colilert detecta, em 24 horas, coliformes totais e *E. coli*. O produto é aprovado por diversas organizações internacionais e está em conformidade com os Métodos Padrão para Exames de Água e Esgoto (*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*). Cada kit permite a realização de uma análise. Importando-se o produto em grande quantidade chegou-se ao valor de aproximadamente R\$ 17,00 por análise. Cada um desses kits é composto de uma amostra, um reagente e uma cartela, como ilustrado na figura 34 a seguir.



Figura 34 – Kit Colilert
FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

Primeiramente a água é amostrada em uma quantidade de 100 ml. Nessa amostra deve ser misturada uma porção de reagente. A mistura é derramada dentro da cartela, que é selada e deve permanecer durante 24h em um incubador à temperatura de 35 °C. Durante esse período os coliformes se reproduzem dentro da cartela, metabolizando o indicador contido no reagente e alterando sua cor para amarelo. Analogamente o *E. coli* metaboliza o indicador alterando sua cor para amarelo e fluorescente sob luz UV. A contagem dos coliformes é feita de acordo com o número de porções grandes e porções pequenas que

apresentam a cor amarela e, dentre as porções que possuem cor amarela, aquelas que apresentam fluorescência sob luz UV. Uma tabela apresentada no anexo 8.2 TABELA COLILERT apresenta a relação das porções grandes e pequenas com o número mais provável de coliformes e *E. coli*. Apesar desse teste ser suficiente para a determinação da eficiência do sistema de desinfecção de água, ele não contempla outros parâmetros importantes, como a turbidez e a cor da água analisada. Para analisar a influência desses parâmetros na desinfecção UV seriam necessários testes de maior tecnologia e, conseqüentemente, maior custo.

Em uma amostra de água coletada no dia 4 de maio de 2011 foi constatada uma quantidade de coliformes totais equivalente a 1299,7 NMP/100ml (onde NMP é o número mais provável – método probabilístico aplicado ao cálculo de microorganismos em uma amostra de água). A água amostrada foi desinfetada com o sistema descrito no capítulo anterior. As vazões de água aplicadas ao sistemas foram 2,0 l/m, 5,1 l/m e 9,9 l/m. A tabela 9 a seguir apresenta o resultado da desinfecção obtido para cada uma das vazões. Outra amostra coletada no dia 1 de setembro de 2011 tem seus resultados apresentados na tabela 10. Os valores de coliformes depois da desinfecção foram obtidos com a utilização do kit colilert.

Vazão (l/min)	Coliformes antes da desinfecção (NMP/ml)	Coliformes depois da desinfecção (NMP/ml)	Eficiência da desinfecção (%)
2,0	1299,7	13,2	99,0
5,1	1299,7	17,5	98,7
9,9	1299,7	22,2	98,3

Tabela 9 – Resultado de desinfecção (laudo)

FONTA: AUTORIA PRÓPRIA

Vazão (l/min)	Coliformes antes da desinfecção (NMP/ml)	Coliformes depois da desinfecção (NMP/ml)	Eficiência da desinfecção (%)
0,40	150000	135,4	99,91
0,40	150000	195,1	99,87
0,40	150000	195,1	99,87
1,50	150000	195,6	99,87
1,50	150000	490,7	99,67

Tabela 10 – Resultado de desinfecção (colilert)

FONTA: AUTORIA PRÓPRIA

6. CONCLUSÕES

Foram observados resultados expressivos quanto à redução de coliformes na água desinfectada. Da mesma forma supõe-se uma eficiência também expressiva na desativação de vírus, bactérias e outros microorganismos. Porém, deve-se ressaltar que o processo utilizado desativa apenas os microorganismos existentes na água. Não é possível garantir a potabilidade da água desinfectada, uma vez que ela pode ter sido contaminada com substâncias químicas variadas, metais, resíduos industriais e outros contaminantes. Sugere-se então dois cenários para a aplicação do sistema construído:

- a) Desinfecção de água em comunidades isoladas – é comum a ingestão de água proveniente de rios e córregos em áreas afastadas, onde não há saneamento básico e rede de energia elétrica. A água ingerida pela comunidade nesses locais contém uma quantidade enorme de microorganismos, apesar de não conter contaminantes químicos. Muitas doenças e infecções poderiam ser evitadas se a água sofresse um processo de desinfecção antes de ser ingerida. Comunidades indígenas também estão sujeitas à mesma situação descrita.
- b) Parte de um processo de purificação completo – A desinfecção ultravioleta pode ser aplicada como parte do processo de purificação da água sendo responsável por desativar os microorganismos. Outros processos químicos e físicos são necessários para garantir que a água não contenha contaminantes químicos, não contenha partículas sólidas e tenha um pH em conformidade com as normas de tratamento de água para o consumo humano.

Sendo o principal foco deste trabalho a utilização do sistema de desinfecção no cenário descrito no item “a”, optou-se sempre pela simplicidade, praticidade, sustentabilidade e baixo custo (com exceção do módulo fotovoltaico) na escolha de materiais e componentes do sistema. Pretende-se, com esses parâmetros de decisão, facilitar o máximo possível a reprodução desse sistema por terceiros. O manual anexo ao trabalho (anexo 8.3 MANUAL PARA A MONTAGEM DO SISTEMA) descreve os passos para a montagem do sistema em uma linguagem simples e direta.

Sendo o objetivo geral deste trabalho gerar um manual para a montagem de um sistema de desinfecção de água utilizando lâmpada ultravioleta, alimentado por energia proveniente de fonte fotovoltaica, pode-se considerar que este foi concluído com sucesso, visto que o manual foi confeccionado. Porém, existem diversos pontos do trabalho que podem ser desenvolvidos, discutidos, substituídos ou melhorados. Apesar desse trabalho enfatizar os aspectos sociais do sistema de desinfecção de água apresentado, também encoraja-se uma abordagem mais tecnológica. Sugere-se para futuras melhorias no projeto:

- a) A utilização de um circuito de controle da vazão de entrada, que regula a vazão de acordo com a potência medida na lâmpada;
- b) A regulação de tensão poderia ser feita com um conversor CC-CC tipo *buck*, que permitiria a redução das perdas elétricas e, conseqüentemente, o aumento da eficiência global do sistema;
- c) Outras fontes alternativas de energia poderiam ser utilizadas na alimentação do sistema de desinfecção;
- d) Uma bomba de corrente contínua poderia ser agregada ao sistema, permitindo o bombeamento de água de poços para a desinfecção e o bombeamento da água desinfectada para o local de consumo;
- e) Um filtro de sólidos pode ser instalado na entrada de água do sistema;
- f) Pode ser adicionado um processo químico para purificação da água, melhorando outros parâmetros como, por exemplo, o pH.

7. REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - **Poluição das águas: Terminologia** - NBR 9896. Rio de Janeiro, 1987.

ÁGUAS DE JOINVILLE. **Relatório Anual 2010**. Disponível em: http://www.aguasdejoinville.com.br/agua_relatorio.php#Joinville. Acesso 20 de maio de 2011.

AGUIAR, A. M. S.; FERNANDES NETO, M. L.; BRITO, L. L. A.; REIS, A. A.; MACHADO, P. M. R.; SOARES, A. F. S.; VIEIRA, M. B. C. M.; LIBÂNIO, M. **Avaliação do emprego da radiação ultravioleta na desinfecção de águas com turbidez e cor moderadas**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v.7, p. 37-47, 2002.

ALEMANHA, **Das Erneuerbare Energie Gesetz 2009**. Disponível em http://bundesrecht.juris.de/eeg_2009/index.html. Acesso 22 de maio de 2011.

ALPHA; AWWA; WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20.ed. Washington, 1991.

ALVES, C. V. P. **Ampliação de escala e avaliação de um fotorreator simplificado de radiação UV na desinfecção de esgotos tratados**. 124p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

AMARAL, L. A.; NUNES, A. P.; CASTANIA, J.; LORENZO, C. S.; BARROS, L. S. S.; NADER FILHO, A. **Uso da radiação solar na desinfecção da água de poços rasos**. **Arquivos do Instituto Biológico**. v.73, n.1, p.45-50, 2006.

ANA – Agência Nacional de Águas. **A Evolução da Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil / The Evolution of Water Resources Management in Brazil**. Brasília; ANA, 2002.

ANEEL. DECRETO N° 5.163 DE 30 DE JULHO DE 2004

ANEEL. LEI N° 10.848 DE 15 DE MARÇO DE 2004

AQUAAMBIENTE. **Tratamento Águas Ultravioleta.** 2004. Disponível em: <<http://www.aquaambiente.com/pdf/TratamentodeAguasporUltraVioleta.pdf>>. Acesso 20 de maio de 2011.

BASTOS, F.P. **Tratamento de água de chuva através de filtração lenta e desinfecção UV.** 135p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2007.

BATTYE, W. **Evaluation of mercury emissions from fluorescent lamp crushing.** Washington, DC: 1994.

BILOTTA, P.; DANIEL, L. A. **Ozônio e radiação UV na inativação de indicadores patogênicos em esgoto sanitário: análise comparativa.** Minerva. v. 3, n.2, p. 199 - 207, 2006.

BOLTON, J. R. **Calculation of ultraviolet fluence rate distributions in an annular reactor: significance of refraction and reflection.** Water Research, v. 34, n.13, p. 3315-3324, 2000.

BONASSI, R. R. **Proposta de metodologia para avaliação de sistemas de saneamento básico em Florianópolis/SC.** 140p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2005.

BRANDÃO, C. C. S.; GUIMARÃES, J. R.; DANIEL, L. A.; LIBÂNIO, M.; LUCA, S. J.; FILHO, S. S. F. **Processos de Desinfecção e Desinfetantes Alternativos na Produção de Água Potável - PROSAB,** p. 27-52, 2001.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 518, de 25 de março de 2004. **Norma de qualidade da água de consumo humano**. Diário Oficial da União, Seção 1, p.266, 2004. Brasília, 26 de mar. 2004.

BRASIL. 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. – Brasília: Ministério da Saúde, 212 p. – (Série B. Textos Básicos de Saúde), 2006.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional 2010 – Ano Base 2009**. Relatório Final. Disponível em <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2010.pdf>. Acesso 21 de maio de 2011.

BRUDERER, H. **Qual é a sua contribuição para o uso racional de água?**. 2008, Disponível em: <http://www.ecowin.com.br/pdf/publicacao_swisscam.pdf>. Acesso 20 maio de 2011.

CAMPOS, JR.; PIZZIRANI, J.A. **Desinfecção com radiação ultravioleta**. In: Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, Belo Horizonte, 1977.

CETESB. **Coliformes totais e fecais – determinação pela técnica de tubos múltiplos**. Apostila técnica, 39p, 1993.

CETESB. **Variáveis de qualidade das águas**. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.asp#turbidez>. Acesso em 27 de abril de 2011.

CIPRIANO, R. F. P. **Tratamento das águas de chuva escoadas sobre telhado e avaliação do seu uso**. 89p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Regional de Blumenau - FURB, Blumenau, 2004.

CRYSTEC. **UV-Lampen von SenLights**. 2007. Disponível em: <<http://www.crystec.com/senlampd.htm>>. Acesso 23 de setembro de 2011.

DANIEL, L. A. **Desinfecção de esgoto com radiação ultravioleta: fotorreativação e obtenção de parâmetros cinéticos**. 164p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo - USP, São Carlos, 1993.

DANIEL, L. A.; PROSAB – Rede Cooperativa de Pesquisas. **Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável**. RiMa Artes e Textos, 139p., São Carlos, 2001.

DOMINGUES, V. O.; TAVARES, G. D.; STÜKER, F.; MICHELOT, T. M.; REETZ, L. G. B.; BERTONCHELIS, C. M.; HÖMER, R. **Contagem de bactérias heterotróficas na água para consumo humano: comparação entre duas metodologias**. Saúde, v. 33, n. 1, p.15-19, 2007.

DONAIRE, P. P. R. **Desinfecção de Água usando Radiação Ultravioleta e Fotocatalise Heterogênea**. 130p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). UNICAMP, Campinas, 2001.

EDSTROM INDUSTRIES INC. **Ultraviolet disinfection**, p. 3-8, 2003. Disponível em: <<http://www.edstrom.com/DocLib/MI4178.pdf>>. Acesso 20 de maio de 2011.

ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA. **Photovoltaic Effect**. Encyclopædia Britannica Online. Encyclopædia Britannica, 2011. Disponível em: <<http://www.britannica.com/EBchecked/topic/458271/photovoltaic-effect>>. Acesso 19 de maio de 2011.

EPIA. **Global Market Outlook for Photovoltaics until 2015**, European Photovoltaic Industry Association. Disponível em: <<http://www.epia.org/publications/photovoltaic-publications-global-market-outlook.html>>. Acesso 15 de junho de 2011.

GOETZBERGER, A.; HOFFMANN V.U. **Photovoltaic Solar Energy Generation**. Berlin: Springer, 2005.

GOGATE, P. R.; PANDIT, A. B. **A review of imperative technologies for wastewater treatment II: hybrid methods**. *Advances in Environmental Research*. v.8, p. 553–597, 2004.

GRASSI, M. T. **As águas do planeta terra**. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*. Edição especial, p. 31-40, 2001.

HIJNEN, W. A. M.; BEERENDONK, E. F.; MEDEMA, G. J. **Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo)cysts in water: A review**. *Water Research*, v. 40, p. 3–22, 2006.

HIRNOVEN, A.; TUHKANEN, T.; KALLIOKOSKI, P. **Treatment of TCE and PCE contaminated groundwater using UV/H₂O₂ and O₃/H₂O₂ oxidation processes**. *Water Science and Technology*. v.33, p. 67-73, 1996.

JAQUES, R. C. **Qualidade da água de chuva no município de Florianópolis e sua potencialidade para aproveitamento em edificações**. 102p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

KOWALSKI W., **Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook**. Springer 2009.

KREUTZ, G. **Photovoltaik: Aus dem Sonnenlicht Strom erzeugen**. Neue Energie vom Bauernhof, 2003.

KYOCERA SOLAR, **Kyocera KD Modules / F Series, Specification Sheet 2010.**

Disponível em http://www.kyocerasolar.com/products/spec_module.html. Acesso 22 de maio de 2011.

LEAL, F. C. T. **Contribuição ao estudo da remoção da cor natural no tratamento das águas de abastecimento.** 155p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.

LEITÃO, M. F. F.; HAGLER, L. C. S. M.; HAGLER, A. N.; MENEZES, T. J. B. **Tratado de Microbiologia.** São Paulo: Editora Manole Ltda., 1988.

LIMA, A. P. **Qualidade microbiológica de águas minerais comercializadas no Distrito Federal.** 38p. Monografia (Especialização em Tecnologia de Alimentos). Universidade de Brasília, 2007.

LOBO, M. G.; COSTA, B. P.; WISBECK, E. **Avaliação da desinfecção de água em reator utilizando radiação ultravioleta.** Revista de Ciências Ambientais, v.3, n.1, p. 21-36, 2009.

LUQUE, A.; HEGEDUS, S. **Handbook of Photovoltaic Science and Engineering.** Wiley, 2005

MASSCHELEIN, W. J. **Ultraviolet light in water and wastewater sanitation.** RICE, R.G. Ed., Lewis Publisher, New York, 2002.

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

MONTAGNER, C. C.; PASCHOALINO, M. P.; JARDIM, W. F. **Aplicação da fotocatalise heterogênea na desinfecção de água e ar. Caderno Temático.** v.4, 17 p. Universidade Estadual de Campinas, 2005.

NIAID - **National Institute of Allergy and Infectious Diseases.** Disponível em: <http://www.niaid.nih.gov/topics/biodefenserelated/biodefense/publicmedia/pages/image_library.aspx>. Acesso 20 de maio de 2011.

OLIVEIRA, E. C. M. **Desinfecção de efluentes sanitários tratados através de radiação ultravioleta.** 97p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 2003.

OLIVEIRA, E. C. M.; HASSEMER, M. E. N.; BENTO, A. P.; SARTORATTO, J.; LAPOLLI, F. R. **Desinfecção e valorização de efluentes sanitários através da radiação ultravioleta.** In: Anais do XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. México, 2002.

OLIVEIRA, Y. V. **Balanco hídrico seriado como base para o planejamento de captação de água de chuva para utilização em propriedades rurais na região de Chapecó - SC.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2004.

OMS - Organización Mundial de La Salud. **Estadísticas Sanitarias Mundiales.** 149 p. Ginebra: OMS, 2009.

PELCZAR, M.; CHAN, E. C. S; KRIEG, N. R. **Microbiologia: conceitos e aplicações.** 2. ed. São Paulo: Makron Books, 1996.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L. D.; RÜTHER, R. **Atlas Brasileiro de Energia Solar.** São José dos Campos: 2006.

PINHEIRO, A.; VALLE, J. A. B.; TORDO, O. C.; MINATTI, G. **Efeito da abstração inicial no aproveitamento da água de chuva.** In: Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, p. 1-6. Campo Grande, ABES, 2005.

PITOMBO, S.O. **Proteção Adaptativa Anti-Ilhamento de Geradores Síncronos Distribuídos.** (Mestrado em Ciências). Programa de Engenharia Elétrica: Sistemas Elétricos de Potência, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2010.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD). **Relatório do Desenvolvimento Humano 2006. A água para lá da escassez: poder, pobreza e a crise mundial da água.** New York, 10017, USA. 1101p.

PVRESOURCES. **Die 15 größten Solarstromanlage der Welt.** Disponível em: <<http://www.pvresources.com>>. Acesso 30 de maio de 2011.

QUASCHNING, V. **Regenerative Energiesysteme: Technologie – Berechnung - Simulation.** Hanser Verlag München 2009.

ÁGUA LIMPA. **Relatório de atividades.** Florianópolis, Novembro 2010.

RÜTHER, R. **Edifícios Solares Fotovoltaicos: O potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil.** Florianópolis: UFSC, 2004.

RICHTER, A. C.; NETTO, J. M. A. **Tratamento de água: tecnologia atualizada.** São Paulo: Edgar Blucher, v.1, 2000.

SAUNDERS, R. J & WARFORD, J. J. **Abastecimento de Água em Pequenas Comunidades: aspectos econômicos e políticos nos países em desenvolvimento.** ABES/ CODEVASF/ BNH. Rio de Janeiro: 1983

SÁ SILVA, C.A., ANDRADE N.J., SOARES, N.F.F., FERREIRA, S.O. **Evaluation of ultraviolet radiation to control microorganisms adhering to low-density polyethylene films.** *Brazilian Journal of Microbiology*, v.34, p. 175-178, 2003.

ŞEN, Z. **Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques.** Springer 2008

SHABAN, A. M.; TAWHEEL, G. E. E.; ALI, G. H. **UV Ability to inactive microorganisms combined with factors affecting radiation.** *Water Science and Technology*, v. 35, p. 107-112, 1997.

SILVA, A. P. S.; DIAS, C. T. D.; BASTOS, R. K. X.; SILVA, E. **Qualidade da água do Reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) de Peti.** *Revista Árvore*, n.6, v.33, p.1063-1069, Minas Gerais, 2009.

SILVA, J. C. C.; CHERNICHARO, C. A. L.; ZERBINI, A. M.; GODINHO, V. M.; LAUFFER, J. **Desenvolvimento e avaliação de um fotorreator simplificado de radiação UV para inativação de coliformes e ovos de helmintos em esgotos tratados.** In: CHERCHINARO, C. A. L. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbicos. Coletânea de artigos técnicos - volume II. PROSAB, p. 229-240, 2001.

SILVA, M.; SARDANHA, J. M.; FERREIRA, F. **Sistemas de Desinfecção de Águas Residuárias – Tendências Atuais.** Associação Portuguesa de Drenagem de Água – APDA, 2003.

SKOOG, D.A., WEST, D.M., HOLLER, F.J. **Analytical chemistry.** 6a ed. Saunders College Pub., 1994.

SNATURAL. **Desinfecção por Ultravioleta.** Disponível em: <<http://www.snatural.com.br/Tratamento-Agua-Ultravioleta-UV.html>> Acesso 20 de maio de 2011.

SOUZA, J. B. **Desinfecção de águas com cor e turbidez elevadas: comparação técnica de processos alternativos ao cloro empregando radiação ultravioleta e ácido paracético.** 147p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento). Universidade de São Paulo - USP, São Carlos, 2000.

SPERLING, M. V. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias - Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2ª edição, v.1, 134 p., 1996.

TECHNOLAMP. **Tecnologia de ponta no serviço da qualidade de vida.** 2007. Disponível em: <<http://www.technolamp.com.br/uv%20lamp.htm>>. Acesso 20 de maio de 2011.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. **Microbiologia.** 8. ed, Artmed Editora. Porto Alegre, 2008.

URBANETZ, J. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Redes de Distribuição Urbanas: Sua Influência na Qualidade da Energia Elétrica e Análise dos Parâmetros que possam afetar a Conectividade.** (Tese de Doutorado). Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Florianópolis, 2010.

WALKLING-RIBEIRO, M.; NOCI, F.; CRONIN, D. A.; RIENER, J.; LUNG, J. G.; MORGAN, D. J. **Reduction of *Staphylococcus aureus* and quality changes in apple juice processed by ultraviolet irradiation, pre-heating and pulsed electric fields.** Journal of Food Engineering, v. 89, p. 267–273, 2008.

WHITE, G. C. **Handbook of chlorination.** Van Nostrand Reinhold Company Inc. 965 p, Vancouver, Nova York, 1986.

WOLF, R. L. **Ultraviolet disinfection of potable water.** Environmental Science & Technology. v.24, n.6, p.768-773, 1990.

WRIGTH, H. B.; CAIRNS, W. L. **Desinfección de agua por medio de luz ultravioleta** In: Simposio Regional sobre Calidad del Agua: Desinfección Efectiva, p.1-28, Lima, 1998.

WWV. **World Water Vision.** In: *WORLD WATER COUNCIL – WWC, 2000.* Disponível em: <<http://www.worldwatercouncil.org/index.php?id=866>>. Acesso 08 de abril de 2011.

8. ANEXOS

8.1 LAUDO DE ANÁLISE DE ÁGUA



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL
LABORATÓRIO INTEGRADO DE MEIO AMBIENTE



RESULTADOS DE ANÁLISE		Nº 08/11
Data de Entrada no Laboratório:	04/05/11	
Interessado:	Maurício	
Tipo de Amostra:	Água	
Origem da Amostra:	Laboratório	
Local de Coleta:	Laboratório	
Dados da Coleta		
Data de coleta: 04/05/11	Hora da coleta (h): 14:00	
Temperatura do ar: 26 °C	Condições Climáticas: Tempo bom	
Coletor: Maurício		

PARÂMETROS	Pontos						UNIDADE
	100 B	150 B	200 B	1	2	3	
	Valores						
Coliformes Totais	1.299,7	10,9	>2419,2	106,6	20,4	4,0	NMP/100 mL NMP/100 mL
Coliformes Fecais	241,5	7,4	>2419,2	99,2	16,2	4,0	
Metodologia: STANDARD METHODS, 21 TH EDITION, 2005.							

PARÂMETROS	Pontos						UNIDADE
	4	5	6	7	8	9	
	Valores						
Coliformes Totais	13,2	17,5	22,2	Ausente	Ausente	Ausente	NMP/100 mL
Coliformes Fecais	8,5	8,6	12,0	Ausente	Ausente	Ausente	NMP/100 mL
Metodologia: STANDARD METHODS, 21 TH EDITION, 2005.							

Florianópolis, 05 de Maio de 2011.

8.2 TABELA COLILERT

# Large Wells Positive	<i>IDEXX Quanti-Tray®/2000 MPN Table (per 100ml)</i>																								
	# Small Wells Positive																								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0	<1	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.1	15.1	16.1	17.1	18.1	19.1	20.2	21.2	22.2	23.3	24.3
1	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.1	8.1	9.1	10.1	11.1	12.1	13.2	14.2	15.2	16.2	17.3	18.3	19.3	20.4	21.4	22.4	23.5	24.5	25.6
2	2.0	3.0	4.1	5.1	6.1	7.1	8.1	9.2	10.2	11.2	12.2	13.3	14.3	15.4	16.4	17.4	18.5	19.5	20.6	21.6	22.7	23.7	24.8	25.8	26.9
3	3.1	4.1	5.1	6.1	7.2	8.2	9.2	10.3	11.3	12.4	13.4	14.5	15.5	16.5	17.6	18.6	19.7	20.8	21.8	22.9	23.9	25.0	26.1	27.1	28.2
4	4.1	5.2	6.2	7.2	8.3	9.3	10.4	11.4	12.5	13.5	14.6	15.6	16.7	17.8	18.8	19.9	21.0	22.0	23.1	24.2	25.3	26.3	27.4	28.5	29.6
5	5.2	6.3	7.3	8.4	9.4	10.5	11.5	12.6	13.7	14.7	15.8	16.9	17.9	19.0	20.1	21.2	22.2	23.3	24.4	25.5	26.6	27.7	28.8	29.9	31.0
6	6.3	7.4	8.4	9.5	10.6	11.6	12.7	13.8	14.9	16.0	17.0	18.1	19.2	20.3	21.4	22.5	23.6	24.7	25.8	26.9	28.0	29.1	30.2	31.3	32.4
7	7.5	8.5	9.6	10.7	11.8	12.8	13.9	15.0	16.1	17.2	18.3	19.4	20.5	21.6	22.7	23.8	24.9	26.0	27.1	28.3	29.4	30.5	31.6	32.8	33.9
8	8.6	9.7	10.8	11.9	13.0	14.1	15.2	16.3	17.4	18.5	19.6	20.7	21.8	22.9	24.1	25.2	26.3	27.4	28.6	29.7	30.8	32.0	33.1	34.3	35.4
9	9.8	10.9	12.0	13.1	14.2	15.3	16.4	17.6	18.7	19.8	20.9	22.0	23.2	24.3	25.4	26.6	27.7	28.9	30.0	31.2	32.3	33.5	34.6	35.8	37.0
10	11.0	12.1	13.2	14.4	15.5	16.6	17.7	18.9	20.0	21.1	22.3	23.4	24.6	25.7	26.9	28.0	29.2	30.3	31.5	32.7	33.8	35.0	36.2	37.4	38.6
11	12.2	13.4	14.5	15.6	16.8	17.9	19.1	20.2	21.4	22.5	23.7	24.8	26.0	27.2	28.3	29.5	30.7	31.9	33.0	34.2	35.4	36.6	37.8	39.0	40.2
12	13.5	14.6	15.8	16.9	18.1	19.3	20.4	21.6	22.8	23.9	25.1	26.3	27.5	28.6	29.8	31.0	32.2	33.4	34.6	35.8	37.0	38.2	39.5	40.7	41.9
13	14.8	16.0	17.1	18.3	19.5	20.6	21.8	23.0	24.2	25.4	26.6	27.8	29.0	30.2	31.4	32.6	33.8	35.0	36.2	37.5	38.7	39.9	41.2	42.4	43.6
14	16.1	17.3	18.5	19.7	20.9	22.1	23.3	24.5	25.7	26.9	28.1	29.3	30.5	31.7	33.0	34.2	35.4	36.7	37.9	39.1	40.4	41.6	42.9	44.2	45.4
15	17.5	18.7	19.9	21.1	22.3	23.5	24.7	25.9	27.2	28.4	29.6	30.9	32.1	33.3	34.6	35.8	37.1	38.4	39.6	40.9	42.2	43.4	44.7	46.0	47.3
16	18.9	20.1	21.3	22.6	23.8	25.0	26.2	27.5	28.7	30.0	31.2	32.5	33.7	35.0	36.3	37.5	38.8	40.1	41.4	42.7	44.0	45.3	46.6	47.9	49.2
17	20.3	21.6	22.8	24.1	25.3	26.6	27.8	29.1	30.3	31.6	32.9	34.1	35.4	36.7	38.0	39.3	40.6	41.9	43.2	44.5	45.9	47.2	48.5	49.8	51.2
18	21.8	23.1	24.3	25.6	26.9	28.1	29.4	30.7	32.0	33.3	34.6	35.9	37.2	38.5	39.8	41.1	42.4	43.8	45.1	46.5	47.8	49.2	50.5	51.9	53.2
19	23.3	24.6	25.9	27.2	28.5	29.8	31.1	32.4	33.7	35.0	36.3	37.6	39.0	40.3	41.6	43.0	44.3	45.7	47.1	48.4	49.8	51.2	52.6	54.0	55.4
20	24.9	26.2	27.5	28.8	30.1	31.5	32.8	34.1	35.4	36.8	38.1	39.5	40.8	42.2	43.6	44.9	46.3	47.7	49.1	50.5	51.9	53.3	54.7	56.1	57.6
21	26.5	27.9	29.2	30.5	31.8	33.2	34.5	35.9	37.3	38.6	40.0	41.4	42.8	44.1	45.5	46.9	48.4	49.8	51.2	52.6	54.1	55.5	56.9	58.4	59.9
22	28.2	29.5	30.9	32.3	33.6	35.0	36.4	37.7	39.1	40.5	41.9	43.3	44.8	46.2	47.6	49.0	50.5	51.9	53.4	54.8	56.3	57.8	59.3	60.8	62.3
23	29.9	31.3	32.7	34.1	35.5	36.8	38.3	39.7	41.1	42.5	43.9	45.4	46.8	48.3	49.7	51.2	52.7	54.2	55.6	57.1	58.6	60.2	61.7	63.2	64.7
24	31.7	33.1	34.5	35.9	37.3	38.8	40.2	41.7	43.1	44.6	46.0	47.5	49.0	50.5	52.0	53.5	55.0	56.5	58.0	59.5	61.1	62.6	64.2	65.8	67.3
25	33.6	35.0	36.4	37.9	39.3	40.8	42.2	43.7	45.2	46.7	48.2	49.7	51.2	52.7	54.3	55.8	57.3	58.9	60.5	62.0	63.6	65.2	66.8	68.4	70.0
26	35.5	36.9	38.4	39.9	41.4	42.8	44.3	45.9	47.4	48.9	50.4	52.0	53.5	55.1	56.7	58.2	59.8	61.4	63.0	64.7	66.3	67.9	69.6	71.2	72.9
27	37.4	38.9	40.4	42.0	43.5	45.0	46.5	48.1	49.6	51.2	52.8	54.4	56.0	57.6	59.2	60.8	62.4	64.1	65.7	67.4	69.1	70.8	72.5	74.2	75.9
28	39.5	41.0	42.6	44.1	45.7	47.3	48.8	50.4	52.0	53.6	55.2	56.9	58.5	60.2	61.8	63.5	65.2	66.9	68.6	70.3	72.0	73.7	75.5	77.3	79.0
29	41.7	43.2	44.8	46.4	48.0	49.6	51.2	52.8	54.5	56.1	57.8	59.5	61.2	62.9	64.6	66.3	68.0	69.8	71.5	73.3	75.1	76.9	78.7	80.5	82.4
30	43.9	45.5	47.1	48.7	50.4	52.0	53.7	55.4	57.1	58.8	60.5	62.2	64.0	65.7	67.5	69.3	71.0	72.9	74.7	76.5	78.3	80.2	82.1	84.0	85.9
31	46.2	47.9	49.5	51.2	52.9	54.6	56.3	58.1	59.8	61.6	63.3	65.1	66.9	68.7	70.5	72.4	74.2	76.1	78.0	79.9	81.8	83.7	85.7	87.6	89.6
32	48.7	50.4	52.1	53.8	55.6	57.3	59.1	60.9	62.7	64.5	66.3	68.2	70.0	71.9	73.8	75.7	77.6	79.5	81.5	83.5	85.4	87.5	89.5	91.5	93.6
33	51.2	53.0	54.8	56.5	58.3	60.2	62.0	63.8	65.7	67.6	69.5	71.4	73.3	75.2	77.2	79.2	81.2	83.2	85.2	87.3	89.3	91.4	93.6	95.7	97.8
34	53.9	55.7	57.6	59.4	61.3	63.1	65.0	67.0	68.9	70.8	72.8	74.8	76.8	78.8	80.8	82.9	85.0	87.1	89.2	91.4	93.5	95.7	97.9	100.2	102.4
35	56.8	58.6	60.5	62.4	64.4	66.3	68.3	70.3	72.3	74.3	76.3	78.4	80.5	82.6	84.7	86.9	89.1	91.3	93.5	95.7	98.0	100.3	102.6	105.0	107.3
36	59.8	61.7	63.7	65.7	67.7	69.7	71.7	73.8	75.9	78.0	80.1	82.3	84.5	86.7	88.9	91.2	93.5	95.8	98.1	100.5	102.9	105.3	107.7	110.2	112.7
37	62.9	65.0	67.0	69.1	71.2	73.3	75.4	77.6	79.8	82.0	84.2	86.5	88.8	91.1	93.4	95.8	98.2	100.6	103.1	105.6	108.1	110.7	113.3	115.9	118.6
38	66.3	68.4	70.6	72.7	74.9	77.1	79.4	81.6	83.9	86.2	88.6	91.0	93.4	95.8	98.3	100.8	103.4	105.9	108.6	111.2	113.9	116.6	119.4	122.2	125.0
39	70.0	72.2	74.4	76.7	78.9	81.3	83.6	86.0	88.4	90.9	93.4	95.9	98.4	101.0	103.6	106.3	109.0	111.8	114.6	117.4	120.3	123.2	126.1	129.2	132.2
40	73.8	76.2	78.5	80.9	83.3	85.7	88.2	90.8	93.3	95.9	98.5	101.2	103.9	106.7	109.5	112.4	115.3	118.2	121.2	124.3	127.4	130.5	133.7	137.0	140.3
41	78.0	80.5	83.0	85.5	88.0	90.6	93.3	95.9	98.7	101.4	104.3	107.1	110.0	113.0	116.0	119.1	122.2	125.4	128.7	132.0	135.4	138.8	142.3	145.9	149.5
42	82.6	85.2	87.8	90.5	93.2	96.0	98.8	101.7	104.6	107.6	110.6	113.7	116.9	120.1	123.4	126.7	130.1	133.6	137.2	140.8	144.5	148.3	152.2	156.1	160.2
43	87.6	90.4	93.2	96.0	99.0	101.9	105.0	108.1	111.2	114.5	117.8	121.1	124.6	128.1	131.7	135.4	139.1	143.0	147.0	151.0	155.2	159.4	163.8	168.2	172.8
44	93.1	96.1	99.1	102.2	105.4	108.6	111.9	115.3	118.7	122.3	125.9	129.6	133.4	137.4	141.4	145.5	149.7	154.1	158.5	163.1	167.9	172.7	177.7	182.9	188.2
45	99.3	102.5	105.8	109.2	112.6	116.2	119.8	123.6	127.4	131.4	135.4	139.6	143.9	148.3	152.9	157.6	162.4	167.4	172.6	178.0	183.5	189.2	195.1	201.2	207.5
46	106.3	109.8	113.4	117.2	121.0	125.0	129.1	133.3	137.6	142.1	146.7	151.5	156.5	161.6	167.0	172.5	178.2	184.2	190.4	196.8	203.5	210.5	217.8	225.4	233.3
47	114.3	118.3	122.4	126.6	130.9	135.4	140.1	145.0	150.0	155.3	160.7	166.4	172.3	178.5	185.0	191.8	198.9	206.4	214.2	222.4	231.0	240.0	249.5	259.5	270.0
48	123.9	128.4	133.1	137.9	143.0	148.3	153.9	159.7	165.8	172.2	178.9	186.0	193.5	201.4	209.8	218.7	228.2	238.2	248.9	260.3	272.3	285.1	298.7	313.0	328.2
49	135.5	140.8	146.4	152.3	158.5	165.0	172.0	179.3	187.2	195.6	204.6	214.3	224.7	235.9	248.1	261.3	275.5	290.9	307.6	325.5	344.8				

# Large Wells Positive	IDEXX Quanti-Tray®/2000 MPN Table (per 100ml)																							
	# Small Wells Positive																							
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
0	25.3	26.4	27.4	28.4	29.5	30.5	31.5	32.6	33.6	34.7	35.7	36.8	37.8	38.9	40.0	41.0	42.1	43.1	44.2	45.3	46.3	47.4	48.5	49.5
1	26.6	27.7	28.7	29.8	30.8	31.9	32.9	34.0	35.0	36.1	37.2	38.2	39.3	40.4	41.4	42.5	43.6	44.7	45.7	46.8	47.9	49.0	50.1	51.2
2	27.9	29.0	30.0	31.1	32.2	33.2	34.3	35.4	36.5	37.5	38.6	39.7	40.8	41.9	43.0	44.0	45.1	46.2	47.3	48.4	49.5	50.6	51.7	52.8
3	29.3	30.4	31.4	32.5	33.6	34.7	35.8	36.8	37.9	39.0	40.1	41.2	42.3	43.4	44.5	45.6	46.7	47.8	48.9	50.0	51.2	52.3	53.4	54.5
4	30.7	31.8	32.8	33.9	35.0	36.1	37.2	38.3	39.4	40.5	41.6	42.8	43.9	45.0	46.1	47.2	48.3	49.5	50.6	51.7	52.9	54.0	55.1	56.3
5	32.1	33.2	34.3	35.4	36.5	37.6	38.7	39.9	41.0	42.1	43.2	44.4	45.5	46.6	47.7	48.9	50.0	51.2	52.3	53.5	54.6	55.8	56.9	58.1
6	33.5	34.7	35.8	36.9	38.0	39.2	40.3	41.4	42.6	43.7	44.8	46.0	47.1	48.3	49.4	50.6	51.7	52.9	54.1	55.2	56.4	57.6	58.7	59.9
7	35.0	36.2	37.3	38.4	39.6	40.7	41.9	43.0	44.2	45.3	46.5	47.7	48.8	50.0	51.2	52.3	53.5	54.7	55.9	57.1	58.3	59.4	60.6	61.8
8	36.6	37.7	38.9	40.0	41.2	42.3	43.5	44.7	45.9	47.0	48.2	49.4	50.6	51.8	53.0	54.1	55.3	56.5	57.7	59.0	60.2	61.4	62.6	63.8
9	38.1	39.3	40.5	41.6	42.8	44.0	45.2	46.4	47.6	48.8	50.0	51.2	52.4	53.6	54.8	56.0	57.2	58.4	59.7	60.9	62.1	63.4	64.6	65.8
10	39.7	40.9	42.1	43.3	44.5	45.7	46.9	48.1	49.3	50.6	51.8	53.0	54.2	55.5	56.7	57.9	59.2	60.4	61.7	62.9	64.2	65.4	66.7	67.9
11	41.4	42.6	43.8	45.0	46.3	47.5	48.7	49.9	51.2	52.4	53.7	54.9	56.1	57.4	58.6	59.9	61.2	62.4	63.7	65.0	66.3	67.5	68.8	70.1
12	43.1	44.3	45.6	46.8	48.1	49.3	50.6	51.8	53.1	54.3	55.6	56.8	58.1	59.4	60.7	62.0	63.2	64.5	65.8	67.1	68.4	69.7	71.0	72.4
13	44.9	46.1	47.4	48.6	49.9	51.2	52.5	53.7	55.0	56.3	57.6	58.9	60.2	61.5	62.8	64.1	65.4	66.7	68.0	69.3	70.7	72.0	73.3	74.7
14	46.7	48.0	49.3	50.5	51.8	53.1	54.4	55.7	57.0	58.3	59.6	60.9	62.3	63.6	64.9	66.3	67.6	68.9	70.3	71.6	73.0	74.4	75.7	77.1
15	48.6	49.9	51.2	52.5	53.8	55.1	56.4	57.8	59.1	60.4	61.8	63.1	64.5	65.8	67.2	68.5	69.9	71.3	72.6	74.0	75.4	76.8	78.2	79.6
16	50.5	51.8	53.2	54.5	55.8	57.2	58.5	59.9	61.2	62.6	64.0	65.3	66.7	68.1	69.5	70.9	72.3	73.7	75.1	76.5	77.9	79.3	80.8	82.2
17	52.5	53.9	55.2	56.6	58.0	59.3	60.7	62.1	63.5	64.9	66.3	67.7	69.1	70.5	71.9	73.3	74.8	76.2	77.6	79.1	80.5	82.0	83.5	84.9
18	54.6	56.0	57.4	58.8	60.2	61.6	63.0	64.4	65.8	67.2	68.6	70.1	71.5	73.0	74.4	75.9	77.3	78.8	80.3	81.8	83.3	84.8	86.3	87.8
19	56.8	58.2	59.6	61.0	62.4	63.9	65.3	66.8	68.2	69.7	71.1	72.6	74.1	75.5	77.0	78.5	80.0	81.5	83.1	84.6	86.1	87.6	89.2	90.7
20	59.0	60.4	61.9	63.3	64.8	66.3	67.7	69.2	70.7	72.2	73.7	75.2	76.7	78.2	79.8	81.3	82.8	84.4	85.9	87.5	89.1	90.7	92.2	93.8
21	61.3	62.8	64.3	65.8	67.3	68.8	70.3	71.8	73.3	74.9	76.4	77.9	79.5	81.1	82.6	84.2	85.8	87.4	89.0	90.6	92.2	93.8	95.4	97.1
22	63.8	65.3	66.8	68.3	69.8	71.4	72.9	74.5	76.1	77.6	79.2	80.8	82.4	84.0	85.6	87.2	88.9	90.5	92.1	93.8	95.5	97.1	98.8	100.5
23	66.3	67.8	69.4	71.0	72.5	74.1	75.7	77.3	78.9	80.5	82.2	83.8	85.4	87.1	88.7	90.4	92.1	93.8	95.5	97.2	98.9	100.6	102.4	104.1
24	68.9	70.5	72.1	73.7	75.3	77.0	78.6	80.3	81.9	83.6	85.2	86.9	88.6	90.3	92.0	93.8	95.5	97.2	99.0	100.7	102.5	104.3	106.1	107.9
25	71.7	73.3	75.0	76.6	78.3	80.0	81.7	83.3	85.1	86.8	88.5	90.2	92.0	93.7	95.5	97.3	99.1	100.9	102.7	104.5	106.3	108.2	110.0	111.9
26	74.6	76.3	78.0	79.7	81.4	83.1	84.8	86.6	88.4	90.1	91.9	93.7	95.5	97.3	99.2	101.0	102.9	104.7	106.6	108.5	110.4	112.3	114.2	116.2
27	77.6	79.4	81.1	82.9	84.6	86.4	88.2	90.0	91.9	93.7	95.5	97.4	99.3	101.2	103.1	105.0	106.9	108.8	110.8	112.7	114.7	116.7	118.7	120.7
28	80.8	82.6	84.4	86.3	88.1	89.9	91.8	93.7	95.6	97.5	99.4	101.3	103.3	105.2	107.2	109.2	111.2	113.2	115.2	117.3	119.3	121.4	123.5	125.6
29	84.2	86.1	87.9	89.8	91.7	93.7	95.6	97.5	99.5	101.5	103.5	105.5	107.5	109.5	111.6	113.7	115.7	117.8	120.0	122.1	124.2	126.4	128.6	130.8
30	87.8	89.7	91.7	93.6	95.6	97.6	99.6	101.6	103.7	105.7	107.8	109.9	112.0	114.2	116.3	118.5	120.6	122.8	125.1	127.3	129.5	131.8	134.1	136.4
31	91.6	93.6	95.6	97.7	99.7	101.8	103.9	106.0	108.2	110.3	112.5	114.7	116.9	119.1	121.4	123.6	125.9	128.2	130.5	132.9	135.3	137.7	140.1	142.5
32	95.7	97.8	99.9	102.0	104.2	106.3	108.5	110.7	113.0	115.2	117.5	119.8	122.1	124.5	126.8	129.2	131.6	134.0	136.5	139.0	141.5	144.0	146.6	149.1
33	100.0	102.2	104.4	106.6	108.9	111.2	113.5	115.8	118.2	120.5	122.9	125.4	127.8	130.3	132.8	135.3	137.8	140.4	143.0	145.6	148.3	150.9	153.7	156.4
34	104.7	107.0	109.3	111.7	114.0	116.4	118.9	121.3	123.8	126.3	128.8	131.4	134.0	136.6	139.2	141.9	144.6	147.4	150.1	152.9	155.7	158.6	161.5	164.4
35	109.7	112.2	114.6	117.1	119.6	122.2	124.7	127.3	129.9	132.6	135.3	138.0	140.8	143.6	146.4	149.2	152.1	155.0	158.0	161.0	164.0	167.1	170.2	173.3
36	115.2	117.8	120.4	123.0	125.7	128.4	131.1	133.9	136.7	139.5	142.4	145.3	148.3	151.3	154.3	157.3	160.5	163.6	166.8	170.0	173.3	176.6	179.9	183.3
37	121.3	124.0	126.8	129.6	132.4	135.3	138.2	141.2	144.2	147.3	150.3	153.5	156.7	159.9	163.1	166.5	169.8	173.2	176.7	180.2	183.7	187.3	191.0	194.7
38	127.9	130.8	133.8	136.8	139.9	143.0	146.2	149.4	152.6	155.9	159.2	162.6	166.1	169.6	173.2	176.8	180.4	184.2	188.0	191.8	195.7	199.7	203.7	207.7
39	135.3	138.5	141.7	145.0	148.3	151.7	155.1	158.6	162.1	165.7	169.4	173.1	176.9	180.7	184.7	188.7	192.7	196.8	201.0	205.3	209.6	214.0	218.5	223.0
40	143.7	147.1	150.6	154.2	157.8	161.5	165.3	169.1	173.0	177.0	181.1	185.2	189.4	193.7	198.1	202.5	207.1	211.7	216.4	221.1	226.0	231.0	236.0	241.1
41	153.2	157.0	160.9	164.8	168.9	173.0	177.2	181.5	185.8	190.3	194.8	199.5	204.2	209.1	214.0	219.1	224.2	229.4	234.8	240.2	245.8	251.5	257.2	263.1
42	164.3	168.6	172.9	177.3	181.9	186.5	191.3	196.1	201.1	206.2	211.4	216.7	222.2	227.7	233.4	239.2	245.2	251.3	257.5	263.8	270.3	276.9	283.6	290.5
43	177.5	182.3	187.3	192.4	197.6	202.9	208.4	214.0	219.8	225.8	231.8	238.1	244.5	251.0	257.7	264.6	271.7	278.9	286.3	293.8	301.5	309.4	317.4	325.7
44	193.6	199.3	205.1	211.0	217.2	223.5	230.0	236.7	243.6	250.8	258.1	265.6	273.3	281.2	289.4	297.8	306.3	315.1	324.1	333.3	342.8	352.4	362.3	372.4
45	214.1	220.9	227.9	235.2	242.7	250.4	258.4	266.7	275.3	284.1	293.3	302.6	312.3	322.3	332.5	343.0	353.8	364.9	376.2	387.9	399.8	412.0	424.5	437.4
46	241.5	250.0	258.9	268.2	277.8	287.8	298.1	308.8	319.9	331.4	343.3	355.5	368.1	381.1	394.5	408.3	422.5	437.1	452.0	467.4	483.3	499.6	516.3	533.5
47	280.9	292.4	304.4	316.9	330.0	343.6	357.8	372.5	387.7	403.4	419.8	436.6	454.1	472.1	490.7	509.9	529.8	550.4	571.7	593.8	616.7	640.5	665.3	691.0
48	344.1	360.9	378.4	396.8	416.0	436.0	456.9	478.6	501.2	524.7	549.3	574.8	601.5	629.4	658.6	689.3	721.5	755.6	791.5	829.7	870.4	913.9	960.6	1011.2
49	461.1	488.4	517.2	547.5	579.4	613.1	648.8	686.7	727.0	770.1	816.4	866.4	920.8	980.4	1046.2	1119.9	1203.3	1299.7	1413.6	1553.1	1732.9	1986.3	2419.6	>2419.6

8.3 MANUAL PARA A MONTAGEM DO SISTEMA

Manual para a montagem de um sistema de desinfecção de água utilizando lâmpada ultravioleta, alimentado por energia proveniente de fonte fotovoltaica, sem utilização de bateria

1. OBJETIVO E FUNÇÃO

Segundo o Ministério da Saúde, aproximadamente 80% das doenças em seres humanos estão relacionadas à água contaminada, falta de conhecimento de higiene básica, do saneamento precário e dos mecanismos básicos das doenças. Os principais agentes causadores dessas doenças são vírus, vermes, fungos, coliformes e bactérias. A desinfecção da água através de radiações ultravioletas com alimentação fotovoltaica permite a desinfecção de água em regiões onde não há um fornecimento de água tratada, saneamento básico ou rede elétrica. Este sistema também pode ser utilizado em outras áreas na desinfecção de águas pluviais ou para outros usos.

O sistema de desinfecção por ultravioleta aplica a radiação eletromagnética da lâmpada sobre a água desativando os microorganismos. Quando a radiação penetra no material genético do organismo, este tem sua capacidade reprodutora prejudicada.

IMPORTANTE: A desinfecção UV atua apenas contra microorganismos. A água mesmo desinfetada ainda pode conter contaminação química. **NÃO ACONSELHAR O CONSUMO DA ÁGUA SEM UMA ANÁLISE DE POTABILIDADE.**

2. PARTES COMPONENTES

O sistema completo é dividido em quatro partes componentes.

Sistema de desinfecção: Onde ocorrerá o efeito germicida na água.

Fonte de energia: Um módulo fotovoltaico fornecerá a energia para alimentar o sistema.

Circuito de regulação e proteção: Um circuito elétrico mantém o nível de tensão na faixa correta para funcionamento do sistema e controla o acionamento da uma válvula para manter o sistema seguro.

Reservatórios: Reservatórios de água contaminada e de água descontaminada.

3. MATERIAIS UTILIZADOS

Para a construção do sistema completo são necessários os seguintes materiais:

- 1 tubo de PVC DN 100 mm de diâmetro e 1,40 m de comprimento;
 - 1 Te curto de PVC DN 100 mm de diâmetro;
 - 3 flanges;
 - 3 Caps;
 - 1 calha de alumínio de 1,40 m de comprimento;
 - 1 registro com controle de vazão;
 - 1 caixa d'água;
 - 1 lâmpada tubular germicida 30 W (Ex: G-Light modelo - T8 30 W);
 - 1 reator 30 W / 12 V compatível com a lâmpada;
 - 1 Módulo fotovoltaico 85 W (Ex: Kycera KC85T);
 - 2 Terminais garfo para instalação do módulo;
 - 2 m de comprimento de fio flexível vermelho;
 - 2 m de comprimento de fio flexível preto;
 - 2 soquetes para lâmpadas fluorescentes base G13 – conector plug;
 - 2 abraceadeiras para lâmpada fluorescente;
 - 4 parafusos com porcas e arruelas;
 - Alicate universal, furadeira, brocas, serra copo, trena, chave de fenda, fita isolante, estilete, seguetta;
 - Ferro de solda, estanho;
 - Um regulador linear ajustável, LM1084;
 - Um resistor de 2,1 k Ω ;
 - Dois capacitores de tântalo 10 uF/25V;
 - Dissipador de calor;
 - Dois transistores BC547;
 - Um LED bicolor;
 - Um fototransistor (sensor UV);
 - Um relé AT1RC2 de 15 A e 12 V;
 - Resistores (2x1k Ω / 1x100 Ω);
 - Uma válvula solenóide NF 12 V (Ex: Klein CF0136 / 12V – DC);
 - Uma placa padrão de tamanho 10x10 cm;
 - Registro com controle de vazão.
- OBS: Outros materiais podem ser necessários na confecção do sistema.

4. ETAPAS DE MONTAGEM

4.1 ESTRUTURA DE DESINFECÇÃO

A montagem da estrutura de desinfecção é dividida em quatro etapas:

1ª Etapa: Fixação do reator e da lâmpada à calha: Utilizando a furadeira, fazer furos na calha de alumínio nas posições mostradas na figura a seguir.



Fixar as abraceadeiras nos pontos 4 e 5, parafusar o reator entre 1 e 2, passar os fios flexíveis pelos pontos 3 e 6. Fazer a conexão entre os fios do conector plug e os fios flexíveis situados nos pontos 3 e 6. Conectar o reator com os fios flexíveis. Fixar a lâmpada tubular com as abraceadeiras e conectá-la com os conectores plug. Deformar a calha de alumínio de maneira a ser introduzida no tubo de PVC conforme figura a seguir.



2ª Etapa: Introdução da calha no interior do tubo de PVC: Inserir a calha, juntamente com a lâmpada e o reator, no tubo de PVC conforme figura abaixo.

Posicione o tubo com a lâmpada na posição superior, em uma superfície plana e faça uma marca a 3 cm de altura da superfície no tubo.



3ª Etapa: Entrada de água: Por questões de segurança, o sistema de desinfecção deve ser abrigado. A exposição frequente à radiação ultravioleta pode causar danos à pele e aos olhos. Para isso são utilizados caps. Marcar o cap com uma caneta utilizando a flange como molde. Fazer a perfuração do cap com uma serra copo, permitindo o encaixe da flange. Para a passagem dos fios de alimentação do reator, fazer um furo adicional no cap como mostrado abaixo.



4ª Etapa: Saída de água: Perfurar dois caps adicionando uma flange a cada um deles. Um dos caps conduz a saída de água desinfetada e o outro funciona como escape, impedindo que o nível de água alcance a lâmpada (no caso de um eventual entupimento da saída). A figura HJ mostra o Te pronto para ser acoplado no tubo de PVC.

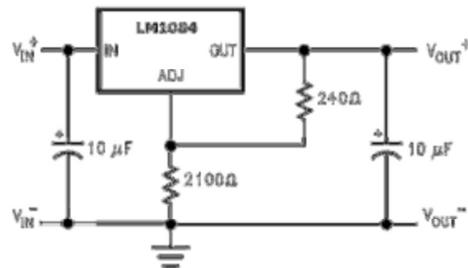


A estrutura montada é mostrada na figura a seguir.



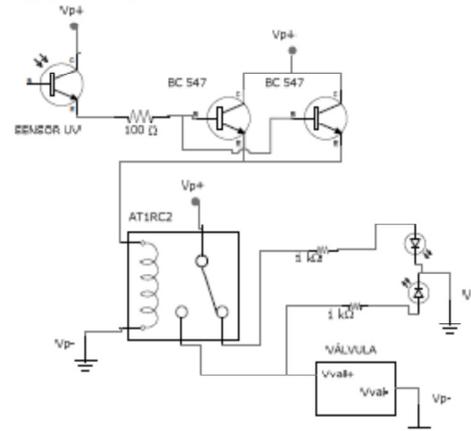
4.2 REGULAÇÃO DE TENSÃO

A tensão do módulo fotovoltaico varia de acordo com a carga instalada e a irradiação solar. Para alimentar o reator da lâmpada e a válvula solenóide necessita-se de uma tensão constante de 12 V. O circuito regulador de tensão é utilizado para manter o nível de tensão em 12 V. Montar o circuito conforme o diagrama de ligações a seguir:

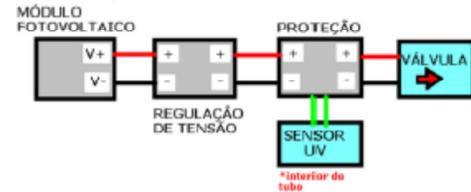


4.3 ACIONAMENTO DA VÁLVULA E SENSOR UV

Para impedir que a água infectada seja misturada à água desinfetada, é necessário a utilização de um sistema de proteção. Este sistema controla o acionamento da válvula conforme o funcionamento da lâmpada. Montar o circuito conforme o diagrama de ligações a seguir:



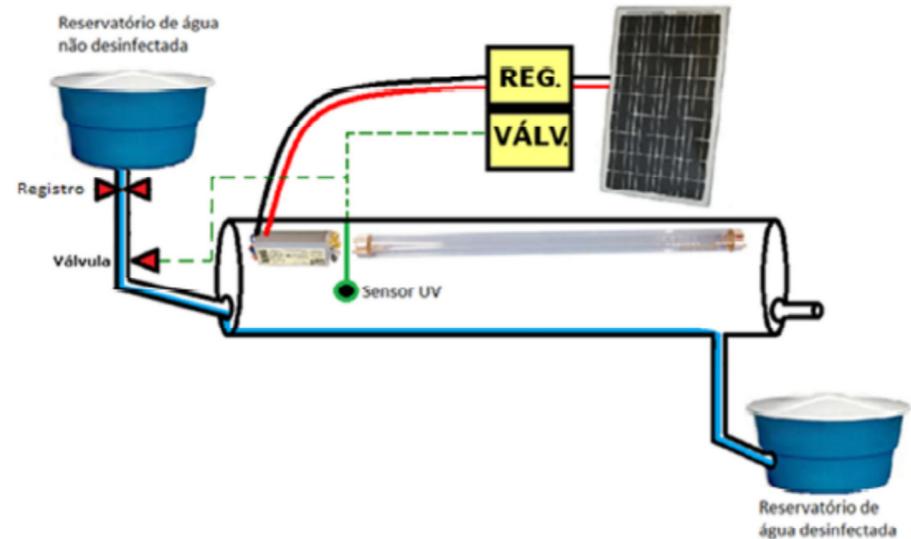
Agregar os circuitos de acionamento da válvula e regulação de tensão em uma única placa e conectar o circuito com o painel solar conforme diagrama abaixo. A chave de duas posições permite o ligamento e desligamento do circuito.



4.4 MONTAGEM FINAL

Terminar a montagem do sistema de desinfecção interconectando as partes componentes como ilustrado na figura a seguir.

O reservatório de água não desinfetada deve estar localizado em um nível superior ao tubo de desinfecção e do reservatório de água desinfetada. O módulo fotovoltaico deve



estar desabrigado e em local com exposição ao sol.

5. FUNCIONAMENTO E INSTRUÇÕES DE UTILIZAÇÃO

O funcionamento do sistema consiste em uma vazão de água que escorre do reservatório de água contaminada para dentro da estrutura de desinfecção. A lâmpada germicida ultravioleta é responsável pela ação de desinfecção da água. A calha de alumínio é utilizada para intensificar o efeito germicida. A lâmpada UV é acionada pelo reator alimentado com energia produzida pelo painel fotovoltaico. A estrutura de regulação ligada na saída do painel solar e que alimenta todo o sistema de desinfecção, é responsável em manter a tensão na faixa adequada.

A vazão de água entra por uma das extremidades do tubo, sofre incidência de radiação ultravioleta germicida e deixa o tubo pela outra extremidade. A válvula situada na entrada do tubo controla o fluxo da água contaminada que entra no sistema de desinfecção. A estrutura de controle inicia seu funcionamento com o sensor UV que está

posicionado no interior do tubo. Este sensor irá detectar se a lâmpada está acesa ou apagada. Se a lâmpada estiver funcionando normalmente, a válvula permanecerá aberta (LED ACESO VERDE). Se a lâmpada apagar, a válvula será fechada e interromperá o fluxo de água para o interior do tubo (LED ACESO VERMELHO ou APAGADO).

Para a utilização do sistema de desinfecção, após a montagem, o usuário deve primeiramente ligar o circuito e observar se o LED indicador está aceso na luz verde. Se o LED estiver verde, deve ser feita a regulação da vazão da água através do registro de tal forma que a água atinja um nível inferior a 3cm. Após a regulação, o sistema está pronto para iniciar a desinfecção de água.