

MARCELO POZZANI DA ROCHA

**ESTUDO PRELIMINAR DE DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA DE SUBSOLO NO
SEMIÁRIDO BRASILEIRO POR SISTEMA DE OSMOSE REVERSA ENERGIZADO
POR ENERGIA SOLAR FOTOVOLTÁICA**

SÃO PAULO

2018

MARCELO POZZANI DA ROCHA

**ESTUDO PRELIMINAR DE DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA DE SUBSOLO NO
SEMIÁRIDO BRASILEIRO POR SISTEMA DE OSMOSE REVERSA ENERGIZADO
POR ENERGIA SOLAR FOTOVOLTÁICA**

**Trabalho de Monografia apresentado à
Universidade de São Paulo como requisito
parcial para a obtenção do título de
Especialista em Energia Renovável, Geração
Distribuída e Eficiência Energética.**

Área de concentração:

Energia Solar

Orientador:

Prof. Dr. Cláudio Roberto de Freitas Pacheco

SÃO PAULO

2018

FICHA CATALOGRÁFICA

Rocha, Marcelo Pozzani da

Estudo preliminar de dessalinização de água de subsolo no semiárido brasileiro por sistema de osmose reversa energizado por energia solar fotovoltaica / M. P. Rocha – São Paulo, 2018
108p.

Monografia (Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1.Osmose reversa 2.Energia Fotovoltaica 3.Semiárido 4.Sistema off grid I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia II.t

AGRADECIMENTOS

Agradeço o professor Pacheco pelas horas de orientação e apoio fornecidas para a elaboração deste estudo.

Agradeço a minha família e amigos pelo apoio na busca por conhecimento em uma área nova e de grande importância.

Agradeço principalmente a minha namorada pela paciência e compressão pelos finais de semana perdidos, mas principalmente por todo apoio dado durante todas as etapas desta pós-graduação e todas as outras...

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	VI
RESUMO.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
1 INTRODUÇÃO	10
1.1 OBJETIVO.....	10
1.2 JUSTIFICATIVA	10
1.3 ESCOPO	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1 ÁGUA	11
2.1.1 Água potável	11
2.1.2 Água no semiárido	12
2.2 DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA	13
2.2.1 Osmose reversa	13
2.2.1.1 Membrana de osmose reversa.....	14
2.2.1.2 Dimensionamento do sistema e aspectos operacionais.....	15
2.2.1.3 Pré-tratamento	22
2.2.1.4 Limpeza química	24
2.3 ENERGIA SOLAR	27
2.3.1 Energia solar fotovoltaica	27
2.3.2 Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica.....	27
2.3.3 Principais parâmetros de módulos fotovoltaicos	28
2.3.3.1 Corrente e voltagem.....	28
2.3.3.2 Temperatura.....	29
2.3.3.3 Potência nominal.....	30
2.3.4 Componentes do sistema.....	31
2.3.5 Principais parâmetros de conjunto de módulos fotovoltaicos	32
2.3.5.1 Sombreamento de painéis	32
2.3.6 Avaliação de irradiação solar	34
3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA	41
3.1 LOCALIDADE.....	41
3.2 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE FILTRAÇÃO.....	41
3.2.1 Sistema de osmose reversa	41
3.2.2 Sistema de pré-filtragem	50

3.2.3	Sistema pós-filtragem.....	56
3.3	SISTEMA FOTOVOLTÁICO.....	56
3.3.1	Localização e dados solarimétricos.....	56
3.3.2	Consumo elétrico do sistema	59
3.3.3	Painel solar fotovoltaico	61
3.3.4	Dimensionamento de campo de painéis fotovoltaicos.....	61
3.3.5	Campo fotovoltaico.....	66
3.3.6	Controlador de carga.....	66
3.3.7	Inversor de frequência.....	66
3.3.8	Arranjo fotovoltaico.....	67
3.3.8.1	Voltagem de circuito aberto.....	67
3.3.8.2	Corrente de curto circuito	68
3.3.8.3	Voltagem e corrente de máxima potência	69
3.3.8.4	Strings fotovoltaicos	70
3.3.9	Baterias	73
3.3.10	Área total do sistema.....	74
3.4	INVESTIMENTOS	76
3.5	VIABILIDADE ECONÔMICA	77
4	CONCLUSÃO	80
5	BIBLIOGRAFIA.....	81
APÊNDICE 1	- SIMULAÇÃO 1	84
APÊNDICE 2	- SIMULAÇÃO 2	86
APÊNDICE 3	- SIMULAÇÃO 1 COM RECIRCULAÇÃO	88
APÊNDICE 4	- SIMULAÇÃO 2 COM RECIRCULAÇÃO	90
APÊNDICE 5	- CALCULO DOSAGEM ANTIINCRUSTRANTE	92
APÊNDICE 6	- IRRADIAÇÃO MÉDIA DIÁRIA – JANEIRO	94
APÊNDICE 7	- IRRADIAÇÃO MÉDIA DIÁRIA – FEVEREIRO.....	95
APÊNDICE 8	- IRRADIAÇÃO MÉDIA DIÁRIA – MARÇO.....	96
APÊNDICE 9	- IRRADIAÇÃO MÉDIA DIÁRIA – ABRIL	97
APÊNDICE 10	- IRRADIAÇÃO MÉDIA DIÁRIA – MAIO	98
APÊNDICE 11	- IRRADIAÇÃO MÉDIA DIÁRIA – JULHO	99
APÊNDICE 12	- IRRADIAÇÃO MÉDIA DIÁRIA – AGOSTO.....	100
APÊNDICE 13	- IRRADIAÇÃO MÉDIA DIÁRIA – SETEMBRO	101
APÊNDICE 14	- IRRADIAÇÃO MÉDIA DIÁRIA – OUTUBRO	102

APÊNDICE 15 -	IRRADIAÇÃO MÉDIA DIÁRIA – NOVEMBRO	103
APÊNDICE 16 -	IRRADIAÇÃO MÉDIA DIÁRIA - DEZEMBRO.....	104
ANEXO 1 -	ANEXO X PORTARIA 2914/2011 – MINISTÉRIO DA SAÚDE	105
ANEXO 2 -	MAPA DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO.....	106
ANEXO 3 -	ANÁLISE DE ÁGUA.....	107
ANEXO 4 -	FLUXOGRAMA DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUA.....	108

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 -	PROCESSO DE OSMOSE REVERSA.....	14
FIGURA 2 -	MEMBRANA DE OSMOSE REVERSA.....	15
FIGURA 3 -	DEPOSIÇÃO DE SÓLIDOS SUSPENSOS EM UMA MEMBRANA.....	18
TABELA 1 -	REDUPERAÇÃO MÁXIMA POR MEMBRANA.....	19
TABELA 2 -	VAZÃO DE CONCENTRADO MÍNIMA	20
TABELA 3 -	TAXA DE FILTRAGEM	21
FIGURA 4 -	EQUILÍBRIO DE CARBONATOS NA ÁGUA.....	22
FIGURA 5 -	DEPOSIÇÃO DE SAIS EM UMA MEMBRANA.....	23
FIGURA 6 -	BIOFILME EM UMA MEMBRANA	24
FIGURA 7 -	PH DE LIMPEZA BÁSICA.....	25
FIGURA 8 -	PH DE LIMPEZA ÁCIDA	26
FIGURA 9 -	CURVA I-V DE UMA CÉLULA FOTOVOLTÁICA.....	29
FIGURA 10 -	CURVA I-V DE UMA CÉLULA FOTOVOLTÁICA.....	30
FIGURA 11 -	SOMBREAMENTO SOLAR	33
FIGURA 12 -	MÉDIA DIÁRIA MENSAL DE RADIAÇÃO SOLAR POR LATITUDE (MJ/m ² .dia).....	36
TABELA 4 -	RESULTADO DE SIMULAÇÕES	44
TABELA 5 -	RESULTADO DE SIMULAÇÕES 2.....	45
FIGURA 13 -	CURVA VAZÃO X PRESSÃO DA BOMBA CR15-9.....	46
FIGURA 14 -	CURVA DE POTÊNICA DA BOMBA CR15-9.....	46
FIGURA 15 -	CURVA VAZÃO X PRESSÃO DA BOMBA CR15-6.....	47
FIGURA 16 -	CURVA DE POTÊNICA DA BOMBA CR15-6.....	47
FIGURA 17 -	FLUXOGRAMA DA OSMOSE REVERSA	48
TABELA 6 -	PARAMETROS DA OSMOSE.....	49
FIGURA 18 -	CURVA DE PRESSÃO E VAZÃO BOMBA CR20-3	50
FIGURA 19 -	CURVA DE POTÊNICA DA BOMBA CR20-3.....	50
FIGURA 20 -	TABELA DE FILTROS DE AREIA	51
FIGURA 21 -	CURVA DE PRESSÃO E VAZÃO BOMBA SP30-7.....	52
FIGURA 22 -	CURVA DE POTÊNICA DA BOMBA SP30-7	53
FIGURA 23 -	CURVA DE PRESSÃO E VAZÃO BOMBA CR64-1	54
FIGURA 24 -	CURVA DE POTÊNICA DA BOMBA CR64-1.....	54
FIGURA 25 -	BOMBA DE DOSAGEM DE ANTIINCRUSTRANTE BETA® B.....	56
FIGURA 26 -	IRRADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA MÉDIA.....	57

TABELA 7 -	IRRADIAÇÃO SOLAR INTEGRADA MÉDIA DIÁRIA MENSAL EXTRATERRESTRE PARA LATITUDE -6”(MJ/m ² /dia)	58
TABELA 8 -	DIA MÉDIO DO MÊS	58
TABELA 9 -	DADOS SOLARIMÉTRICOS MENSAIS LATITUDE -6°	59
TABELA 10 -	BOMBAS EM OPERAÇÃO X ETAPA DE OPERAÇÃO	60
TABELA 11 -	CONSUMO ENERGÉTICO POR HORA	60
TABELA 12 -	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PAINEL FOTOVOLTÁICO CS6X-330 61	
TABELA 13 -	IRRADIAÇÃO SOLAR SOBRE PLANO INCLINADO B - MÊS DE JUNHO 62	
TABELA 14 -	POTÊNCIA ELÉTRICA - MÊS DE JUNHO	63
TABELA 15 -	POTÊNCIA ELÉTRICA DO CAMPO DE PAINEIS - MÊS DE JUNHO 65	
TABELA 16 -	CONTROLADOR 240V50A.....	66
TABELA 17 -	FRONIUS SYMO 15.0-3	67
FIGURA 27 -	ARRANJO FOTOVOLTÁTICO.....	71
FIGURA 28 -	DISTRIBUIÇÃO DE PAINEIS FOTOVOLTÁICOS	75
TABELA 18 -	CUSTOS DE IMPLEMENTAÇÃO.....	76
TABELA 19 -	CUSTOS DE OPERAÇÃO	77
TABELA 20 -	PRODUÇÃO MENSAL DO SISTEMA EM MÉTROS CBICOS	78
FIGURA 29 -	FLUXO DE CAIXA ACUMULADO	79

RESUMO

A região do semiárido possui um acesso escasso a água. As secas ocorrem frequentemente, ano após ano, reduzindo os níveis dos açudes que abastecem as diversas cidades e povoados presentes na região. A solução mais comumente empregada é o abastecimento emergencial com a utilização de caminhões pipa, no entanto, as regiões que podem fornecer esta água são distantes do ponto de consumo. Isto resultou em um grande gasto de combustíveis e um preço elevado para um bem tão necessário.

Uma alternativa é a extração de água de poços artesianos, porém, devido ao alto nível salobridade faz-se necessário um tratamento da água antes do consumo. O tratamento de água utilizado mundialmente para redução de salobridade de água é a osmose reversa, tecnologia que possui grande gasto energético. Este gasto que limita a aplicabilidade deste sistema já que o acesso energia elétrica pode também ser um empecilho em algumas regiões.

Visando as dificuldades apresentadas acima foi elaborado este estudo. Este trabalho tem por objetivo analisar a viabilidade técnica e financeira de sistemas de tratamento de água por osmose reversa energizados por painéis fotovoltaicos *off-grid* na região do semiárido brasileiro. Para realizar este estudo foi necessário estudar a qualidade presente na localidade, qualidade de água que é definida pela legislação brasileira como própria para consumo, definir tipo do tratamento de água adequado e quantificar o tamanho da usina solar fotovoltaica necessária para energizar o sistema.

Conforme foi possível analisar o sistema combinado de osmose reversa energizado por painéis solares é viável tecnicamente e financeiramente como fonte de fornecimento alternativa de água para a cidade.

Palavras-chave: Osmose reversa, Energia fotovoltaica, Semiárido, Sistema *off-grid*

ABSTRACT

The semi-arid region has scarce access to water. Droughts occur frequently, year after year, reducing the levels of dams that supply the various cities and towns in the region. The solution most commonly employed is emergency supply with the use of kite trucks, however, the regions that can supply this water are far from the point of consumption, fact that generates a great expense of fuels that results in a high price for such a necessary good.

An alternative is the extraction of water from artesian wells, however, due to the high salubrity level it is necessary to treat the water before consumption. The treatment of water used worldwide for reduction of salty water is reverse osmosis, technology that has great energy expenditure. This expense limits the applicability of this system since the access to electric power can also be a difficulty in some regions.

Aiming at the difficulties presented above, this study was elaborated. This study aims to analyze the technical and financial feasibility of reverse osmosis water treatment systems powered by off-grid photovoltaic panels in the Brazilian semi-arid region. In order to perform this study, it was necessary to study the present quality in the locality, water quality that is defined by the Brazilian legislation as suitable for consumption, define type of adequate water treatment and quantify the size of the photovoltaic solar power plant needed to power the system.

As it was possible to analyze the combined system of reverse osmosis energized by solar panels is technically and financially feasible as a source of alternative water supply for the city.

Keywords: Reverse osmosis, Photovoltaic energy, Semi-arid, Off-grid system

1 INTRODUÇÃO

1.1 OBJETIVO

Realizar um estudo aplicado no semiárido brasileiro com a finalidade de fornecer água potável existente no subsolo pelo processo de osmose reversa utilizando energia solar pela tecnologia fotovoltaica.

1.2 JUSTIFICATIVA

A obtenção de água potável na região do semiárido brasileiro permite modificar a economia de povoados de maneira permitir uma atividade que fixe esta população nestes locais mantendo um padrão de vida aceitável no que diz respeito às necessidades materiais de sobrevivências e manutenção da cultura das populações.

1.3 ESCOPO

Este estudo foi realizado no município de Santana do Mato – RN, onde a necessidade de água potável a ser gerada importa em 1.327,9m³/dia. Foi realizado um pré-dimensionamento de filtragem por osmose reversa, cuja energia foi atendida por um campo de painéis fotovoltaicos. Foi realizado um estudo de viabilidade econômica utilizando como referência o abastecimento da cidade por caminhões pipa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica foi elaborada com o intuito prover fundamentos sobre os quais a monografia será desenvolvida.

2.1 ÁGUA

“O Artigo 25 da Declaração Universal dos Direitos Humanos de 1948 declara que “o direito a um padrão de vida adequado à saúde e ao bem-estar de si mesmo e de sua família, incluindo alimentação, vestuário, alojamento e cuidados médicos e serviços sociais necessários”. Embora não afirme explicitamente que havia um direito humano à água, o direito humano à água estava implícito, já que o acesso à água é um fator-chave que determina a saúde e o bem-estar.” (CHENOWETH, 2008)

2.1.1 Água potável

O volume de água consumido pelo ser humano ao longo do dia varia conforme sua utilização, necessidade e localidade.

A organização mundial de saúde estabelece que o consumo recomendado de água per capita por dia, para atender as necessidades básicas de consumo e higiene, é de 100 litros por dia. (HOWARD e BARTRAM, 2003).

Neste trabalho estaremos desenvolvendo um estudo de um sistema que seja capaz de atender todas estas necessidades de consumo de água de uma população, sem a adição de nenhuma outra fonte de água. O sistema será capaz de produzir água potável a todo momento em que estiver em operação e esta água tratada será utilizada para suprir todos as necessidades de seus usuários.

A portaria 2914 de 12 de dezembro de 2011 do ministério da saúde define todos os parâmetros necessários para que uma água seja considerada potável. Nela estão descritos parâmetros químicos, microbiológicos, radiológicos. Com base nestes parâmetros será possível verificar se o sistema estará de fato produzindo a água na

qualidade exigida para consumo. No anexo 1 é possível verificar a parte de aspectos inorgânicos referente a portaria 2914/2011.

2.1.2 Água no semiárido

O semiárido brasileiro é definido pelo Conselho Deliberativo (Condel) da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (Sudene). Este órgão é responsável pela delimitação da região conhecida como semiárido brasileiro.

“O semiárido é uma região caracterizada pelo clima seco, com poucas chuvas e elevada evapotranspiração. Estende-se por 1,03 milhão de km² (12% da área do País) e atualmente congrega uma população de 27 milhões de pessoas (12% da população brasileira) vivendo em 1.262 municípios de nove estados da Federação”. (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2018)

No anexo 2 é possível verificar um mapa completo do semiárido brasileiro.

Abastecer a população que habita nesta localidade com água é um desafio. A região possui um baixo índice pluviométrico e baixo acesso a águas superficiais como mananciais, rios e lagos.

As alternativas de abastecimento das cidades que mais sofrem com falta de água são poucas. Uma das alternativas é o abastecimento por caminhões tanque, o que levaria a um alto gasto com combustível e o que inviabiliza qualquer cultivo agrícola na região. Outra alternativa é a utilização de águas subterrâneas do aquífero presente na região. Esta água porém tende a possuir uma alta salinidade devido o contato com o tipo de solo presente na região. A média geométrica dos resíduos secos dos poços varia em torno de 1924 mg/l com valores máximos de até 31.700 mg/l. (SUASSUNA, 2002).

Com estas condições de água existem poucas opções de tratamento que permitam potabilizar a água de poço da região, o que dificulta o acesso da população a uma fonte de abastecimento água que seja confiável e permanente.

2.2 DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA

A dessalinização consiste no processo de separação dos sais dissolvidos e da água na forma líquida. Estes sais dissolvidos em excesso podem tornar a água imprópria para consumo humano assim como causar incrustações em máquinas térmicas como caldeiras, turbinas ou geradores a vapor.

Segundo (KRISHNA, 2004), existem dois principais processos para dessalinização de água, destilação térmica ou dessalinização por membranas.

A dessalinização por processo térmico, aquecimento da água para separação dos sólidos dissolvidos, é um processo que já era realizado desde o século 4 AC por marinheiros gregos. A necessidade por água com baixos teores de sal se difundiu mais durante o século 19 com a invenção da máquina a vapor que demanda água com altos níveis de pureza para sua operação. (THE EDITORS OF ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA, 2018)

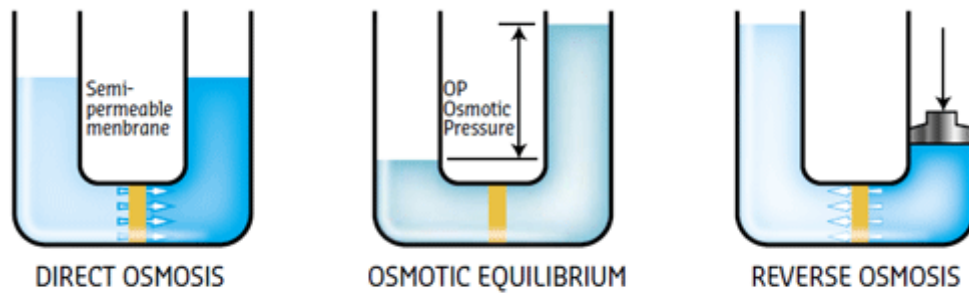
A dessalinização por osmose reversa começou em escala industrial no final da década de 50 e começo da década de 60. Antes disso este processo não era viável em escalas industriais. O processo foi inicialmente desenvolvido para realizar o tratamento de água salobras e águas do mar, porém, devido ao aumento demanda industrial para conservação de energia, água, reduzir emissão de poluentes o processo se tornou viável em níveis industriais. (DOW WATER & PROCESS SOLUTIONS)

2.2.1 Osmose reversa

As membranas de osmose reversa são consideradas um dos níveis de filtração mais restritivos existentes. A membrana atua como uma barreira para íons inorgânicos e sais dissolvidos e consegue remover componentes orgânicos com peso molecular de até 100 Da. (DOW WATER & PROCESS SOLUTIONS)

O princípio de funcionamento do processo é a aplicação de uma força mecânica, no caso pressão, sobre um líquido concentrado de sais. Este líquido é empurrado sobre a membrana que impede a passagem dos íons dissolvidos e permite a passagem

somente de moléculas de H_2O , promovendo uma concentração do líquido com sais dissolvidos em lado da membrana e uma diluição do líquido no outro lado da membrana. (DOW WATER & PROCESS SOLUTIONS) A Figura 1 ilustra o princípio da Osmose Reversa.



Reverse Osmosis operating principle

FIGURA 1 - PROCESSO DE OSMOSE REVERSA

Fonte: (DEGREMONT)

2.2.1.1 Membrana de osmose reversa

A membrana de osmose reversa é composta de uma fina camada plástica de poliamida que faz a separação dos sais dissolvidos. Esta altíssima rejeição de materiais, chegando a níveis moleculares, limita as taxas de filtragem da membrana a valores bem reduzidas quando comparados a outros sistemas de tratamento de água. (DOW WATER & PROCESS SOLUTIONS)

As membranas operam em fluxo tangencial para evitar a deposição de sais na superfície da membrana. Devido ao fluxo tangencial necessário para a operação nunca será possível atingir níveis de tratamento de 100% da água que alimenta o sistema. Há necessidade de se fazer um descarte de água concentrada de sais após o tratamento por membranas. (DOW WATER & PROCESS SOLUTIONS)

A membrana de osmose reversa é construída de forma espiral, enrolando a manta diversas vezes sobre o eixo central, onde é coletada água tratada, conforme pode ser verificado na figura 2. Este tipo de construção garante que a taxa de empacotamento volumétrico da membrana seja bem elevada, possibilitando a construção de

membranas com altas taxas de área filtrante. Como exemplo podemos citar as membranas de Ø8" x 40" que possuem aproximadamente 37m² de área filtrante em um volume próximo a 33L. (DOW WATER, 2018)

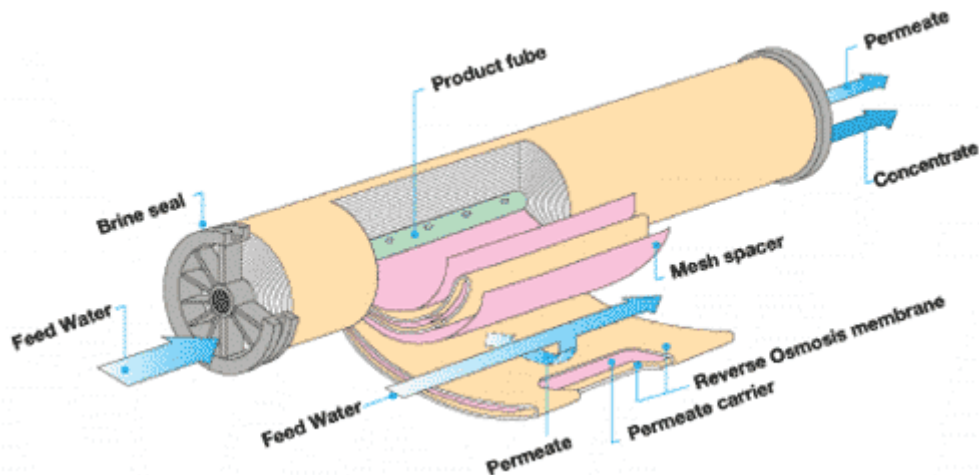


FIGURA 2 - MEMBRANA DE OSMOSE REVERSA

Fonte: (TORAY WATER, 2018)

2.2.1.2 Dimensionamento do sistema e aspectos operacionais

Existem diversos parâmetros que são importantes para o dimensionamento de um sistema de osmose reversa. Estes parâmetros devem ser analisados durante a etapa de dimensionamento do equipamento e devem ser monitorados durante a operação do sistema, desta maneira é possível garantir que o sistema esteja operando dentro de seus limites operacionais garantindo uma melhor vida útil das membranas que são o principal componente de filtração no sistema. (DOW WATER & PROCESS SOLUTIONS)

Alguns dos parâmetros que são importantes para o dimensionamento e operação do sistema são:

- Qualidade de água de entrada

A qualidade de água de entrada é um fator crucial para ser analisado durante a etapa de dimensionamento de um sistema. Dela é possível verificar qual é o modelo de

membrana mais aplicável para atingir o objetivo desejado com a qualidade de água tratada assim como a pressão osmótica que será necessária durante a operação. (DOW WATER & PROCESS SOLUTIONS)

- Qualidade de água tratada

A qualidade de água tratada representa o resultado do tratamento por membranas. Esta qualidade pode variar de processo a processo. No caso desta monografia o objetivo é obter uma água que atenda os parâmetros da portaria 2914 do ministério da saúde. (DOW WATER & PROCESS SOLUTIONS)

- Tipos de membrana – rejeição de sais

Existem alguns tipos diversos de membranas de osmose reversa para aplicações distintas. No caso desta monografia iremos abordar as membranas para água salobra, modelos BW, e membranas de baixo consumo energético ou membranas de baixa pressão LE. (DOW WATER & PROCESS SOLUTIONS)

A principal distinção entre estas membranas é a capacidade de rejeição de sais. Membranas de água salobra possuem uma melhor rejeição de sais enquanto membranas de baixa pressão possuem uma menor rejeição. Devido a algumas limitações construtivas membranas de baixa pressão são aplicadas somente em águas com concentrações de até 1000mg/l de sais. O motivo desta limitação será exibido em maiores detalhes na etapa de dimensionamento do sistema. (DOW WATER & PROCESS SOLUTIONS)

- Pressão de operação

Pressão representa a força mecânica que terá que ser exercida sobre a superfície filtrante da membrana para reverter o processo de osmose natural. Esta pressão deve ser maior que a pressão osmótica da qualidade da água de alimentação.

A pressão pode variar de acordo com o tipo de membrana utilizada que pode ser de alta rejeição ou baixa rejeição. Quando maior a rejeição da membrana maior terá que ser a pressão aplicada para que se obtenha a mesma vazão de água tratada.

A pressão também varia de acordo com a qualidade da água de alimentação, quanto maior for a quantidade de sais dissolvidos na água de alimentação maior terá que ser a pressão aplicada sobre a superfície da membrana.

A pressão de operação do sistema é o principal determinante do custo energético de operação do sistema. Quanto maior for a pressão aplicada na membrana, maior será a bomba que pressuriza o sistema, o que leva a um maior motor e um maior consumo energético. (DOW WATER & PROCESS SOLUTIONS)

- Temperatura

A temperatura influencia na capacidade de rejeição de sais dissolvidos na membrana. Quanto mais alta for a temperatura do fluido a ser tratado menor será a rejeição da membrana.

Este parâmetro também tem influência na pressão osmótica do sistema. Em casos de elevação de temperatura a rejeição de sais da membrana irá reduzir, isto acarretará em uma menor pressão osmótica, conseqüentemente uma maior vazão de água tratada. Em operações prolongadas com altas temperaturas é necessário corrigir a pressão de operação do sistema para evitar danos na membrana. (DOW WATER & PROCESS SOLUTIONS)

- Sólidos suspensos - SDI

As membranas de osmose reversa foram desenvolvidas para remoção de particulados suspensos nanométricos ou sais dissolvidos. Caso haja algum particulado suspenso na água com dimensões mais elevadas, acima de 1 micra por exemplo, este poderia causar entupimento precoce na membrana.

Para analisar a qualidade da água de alimentação é feito um teste conhecido como *SDI₁₅ – Silt Density Index*. Este teste analisa o potencial de entupimento das membranas por sólidos suspensos e o resultado varia entre 0 e 6,67, sendo 0 o melhor resultado e 6,67 o pior. As membranas de osmose reversa podem operar com SDI abaixo de 5, porém é recomendado que o SDI seja abaixo de 3 para que seja possível utilizar taxas mais altas de filtração.

Para impedir este tipo de entupimento são utilizados um ou mais filtros para remover este particulado e proteger a membrana, dependendo da quantidade de sólidos em suspensão na água de alimentação. A figura 3 mostra o entupimento da membrana por sólidos suspensos.



FIGURA 3 - DEPOSIÇÃO DE SÓLIDOS SUSPENSOS EM UMA MEMBRANA

Fonte: Arquivo pessoal

- Recuperação

A recuperação de água representa efetivamente em porcentagem o quanto de água está sendo tratado. Normalmente em sistemas de osmose reversa de vazões superiores a $2\text{m}^3/\text{h}$ a recuperação total pode chegar a até 75% quando não há reciclagem de concentrado. Individualmente é ideal que as membranas não operem com recuperações acima da especificada na tabela 1.

TABELA 1 - REDUPERAÇÃO MÁXIMA POR MEMBRANA

Fonte: (DOW WATER & PROCESS SOLUTIONS)

Tipo de pré-tratamento	<i>SDI</i>	Recuperação
Permeado de osmose	<1	30%
Água de poço	<3	19%
Água de superfície Pré-filtragem com de ultrafiltração	<3	17%
Água de superfície Pré-filtragem convencional	<3	15%
Água de efluente Pré-filtragem com membranas de ultrafiltração	<3	13%
Água de efluente Pré-filtragem convencional	<5	12%
Água do mar Pré-filtragem com membranas de ultrafiltração	<3	14%
Água do mar Pré-filtragem convencional	<5	13%

- Vazão de alimentação, concentrado e permeado do sistema

Vazão de alimentação representa o quanto de água está sendo inserido no sistema para ser tratado.

Vazão de permeado do sistema representa o quando foi tratado para consumo.

Vazão de concentrado representa o quanto será descartado ou utilizado em outro processo. Para evitar taxas de filtração tangencial muito baixas e consequentemente maior deposição de sais o valor mínimo deverá ser conforme tabela 2.

TABELA 2 - VAZÃO DE CONCENTRADO MÍNIMA

Fonte: (DOW WATER & PROCESS SOLUTIONS)

Tipo de pré-tratamento	<i>SDI</i>	Vazão de concentrado m³/h
Permeado de osmose	<1	2,3
Água de poço	<3	3
Água de superfície Pré-filtragem com de ultrafiltração	<3	3
Água de superfície Pré-filtragem convencional	<3	3,4
Água de efluente Pré-filtragem com membranas de ultrafiltração	<3	4,1
Água de efluente Pré-filtragem convencional	<5	4,6
Água do mar Pré-filtragem com membranas de ultrafiltração	<3	-
Água do mar Pré-filtragem convencional	<5	-

- Taxa de filtração

Taxa de filtração representa o volume que está sendo tratado em uma área específica de membrana. Para evitar a deposição de sais é recomendado utilizar taxas de passagem conforme tabela 3.

TABELA 3 - TAXA DE FILTRAGEM

Fonte: (DOW WATER & PROCESS SOLUTIONS)

Tipo de pré-tratamento	SDI	Taxa de filtragem l/m ² /h
Permeado de osmose	<1	36 - 42
Água de poço	<3	27 - 34
Água de superfície Pré-filtragem com de ultrafiltração	<3	22 - 29
Água de superfície Pré-filtragem convencional	<3	20 - 27
Água de efluente Pré-filtragem com membranas de ultrafiltração	<3	17 - 24
Água de efluente Pré-filtragem convencional	<5	14 - 20
Água do mar Pré-filtragem com membranas de ultrafiltração	<3	14 - 17
Água do mar Pré-filtragem convencional	<5	12 - 17

- pH

O pH é um aspecto importante pois ele controla o potencial de deposição dos sais dissolvidos na superfície da membrana assim como determina a capacidade de remoção de alcalinidade da água, expressa em CO₂, bicarbonato e carbonato conforme o pH.

Primeiramente para evitar deposição de sais em excesso o pH da água de entrada deve ser mantido preferencialmente abaixo de 9.

Segundo, devido a um equilíbrio existente de íons dissolvidos na água entre dióxido de carbono, carbonato de sódio e bicarbonato de sódio o pH da água de alimentação deve ser mantido entre 8 e 9 para que tenha a maior concentração de bicarbonatos, conforme mostra a Figura 3. O motivo de se ter preferência pela formação de bicarbonatos é que a membrana rejeita melhor os bicarbonatos do que outros íons.

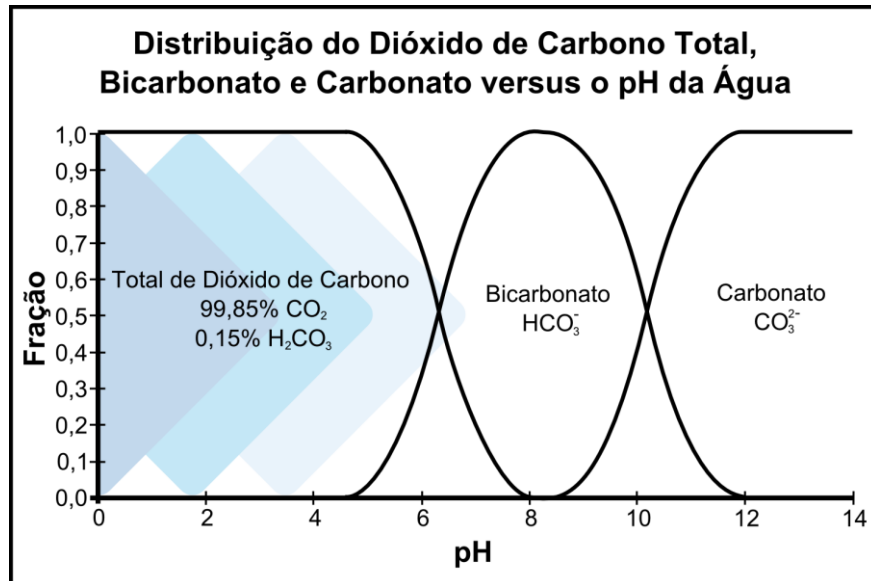


FIGURA 4 - EQUILIBRIO DE CARBONATOS NA ÁGUA

FONTE: (LITER)

2.2.1.3 Pré-tratamento

O pré-tratamento da água antes de entrar na membrana é crucial para o bom funcionamento do equipamento. Além da remoção de particulado suspensos existem outros tipos de pré-tratamento que devem ser levados em consideração:

- Incrustação inorgânica

A membrana trabalha fazendo a separação entre a água e os materiais dissolvidos nela. Devido a esta concentração de sais em um lado da membrana é possível que algum componente ultrapasse seu limite de solubilidade na água o que levaria a uma deposição de sais na superfície da membrana. Como exemplo podemos citar ferro, cálcio e magnésio.

Para evitar cenários como o da figura 5 é preciso controlar o pH da água de alimentação do sistema. Também é possível trabalhar com químicos que aumentam momentaneamente o limite de solubilidade de certos íons para evitar esta deposição.



FIGURA 5 - DEPOSIÇÃO DE SAIS EM UMA MEMBRANA

Fonte: (DOW WATER & PROCESS SOLUTIONS)

- Remoção de biofilme

O biofilme consiste em componentes orgânicos que podem estar dissolvidos na água. Estes componentes depositam na superfície da membrana causando entupimento e, diferentemente da incrustação inorgânica, esta podem proliferar devido ao crescimento biológico dentro da membrana, conforme mostrado na Figura 6.

Este biofilme pode ser prevenido com adição de um filtro de carvão que faz a adsorção dos componentes biológicos na água ou fazendo a dosagem de agentes oxidantes como o cloro líquido na água de alimentação. (LITER, 2018)

É importante notar que caso seja feita remoção com agentes oxidantes é necessário remove-los do sistema antes das membranas de osmose reversa. Caso não seja feito, as membranas serão degradadas pelo químico oxidante o que levará a uma destruição da camada filtrante.

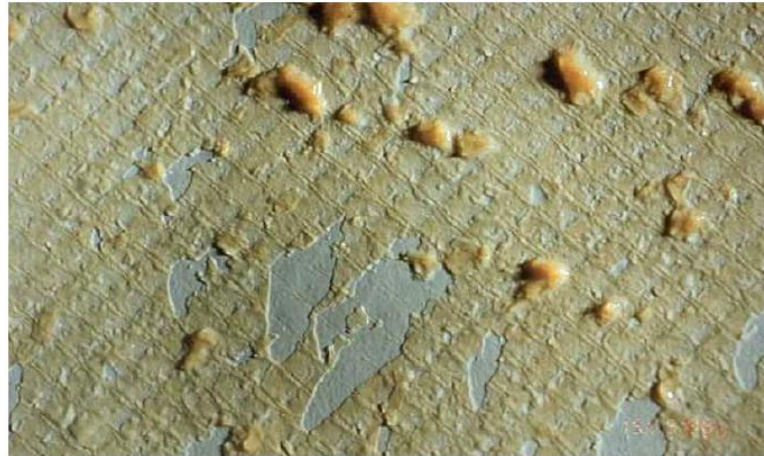


FIGURA 6 - BIOFILME EM UMA MEMBRANA

Fonte: (DOW WATER & PROCESS SOLUTIONS)

2.2.1.4 Limpeza química

Preferencialmente é necessário tomar todos os cuidados com incrustações orgânicas, inorgânicas, e evitar operar as membranas fora dos limites operacionais, porém nem sempre isso é possível. A água de alimentação sofrerá constantes alterações durante a operação do equipamento e nem sempre será possível ajustar os parâmetros operacionais. Consequentemente as membranas de osmose reversa, por serem uma barreira de tratamento extremamente restritivas, sofrerão incrustações de diversos tipos e para remover estas incrustações é necessário fazer uma limpeza química na superfície das membranas.

A limpeza química consiste em duas etapas de tratamento com choque de pH para solubilizar os compostos que estão dentro dela. Caso não sejam feitas limpezas químicas as membranas irão perder capacidade de filtração até um momento que estejam completamente entupidas.

A necessidade de limpeza surge da demanda do beneficiário do equipamento. Caso não seja feita a limpeza a única alternativa será a troca das membranas de osmose reversa. Neste caso é interessante o beneficiário verificar o que seria mais viável em seu sistema, se é a troca das membranas ou o gasto com os químicos necessários para a limpeza.

- Remoção de biofilme

O biofilme é removido utilizando uma solução de pH básica. Normalmente é utilizada soda cáustica para atingir valores de pH próximo a 12, porém é possível utilizar qualquer outro tipo de base forte não oxidante para este processo, conforme mostra a Figura 7.

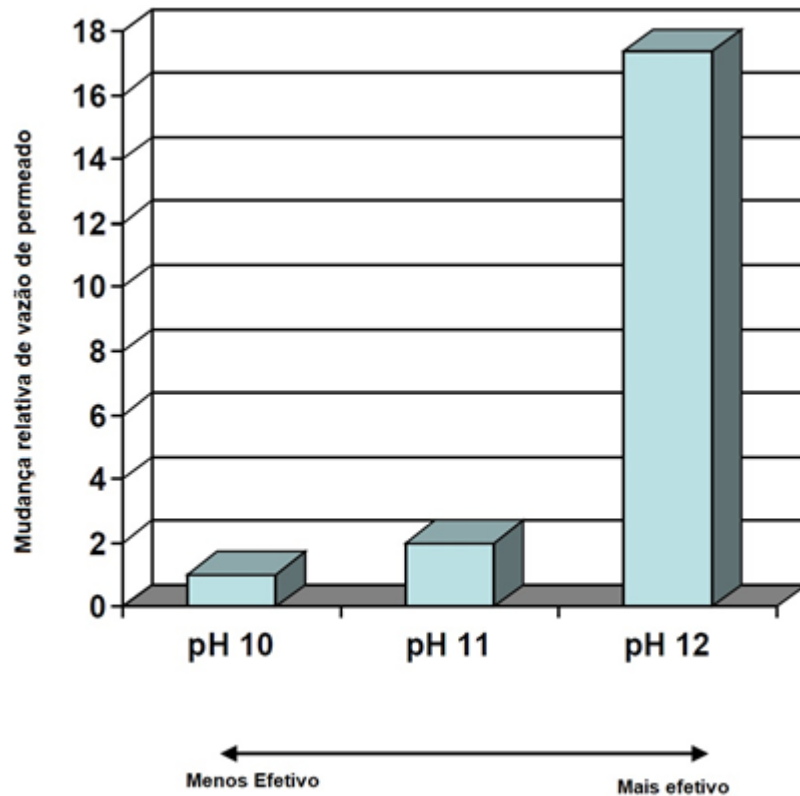


FIGURA 7 - PH DE LIMPEZA BÁSICA

Fonte: (DOW WATER & PROCESS SOLUTIONS)

- Remoção de incrustação inorgânica

A remoção da incrustação de sais inorgânicos é feita solubilizando estes sais a um pH ácido. Normalmente se utiliza ácido clorídrico embora outros ácidos possam ser utilizados também, como mostra a Figura 8.

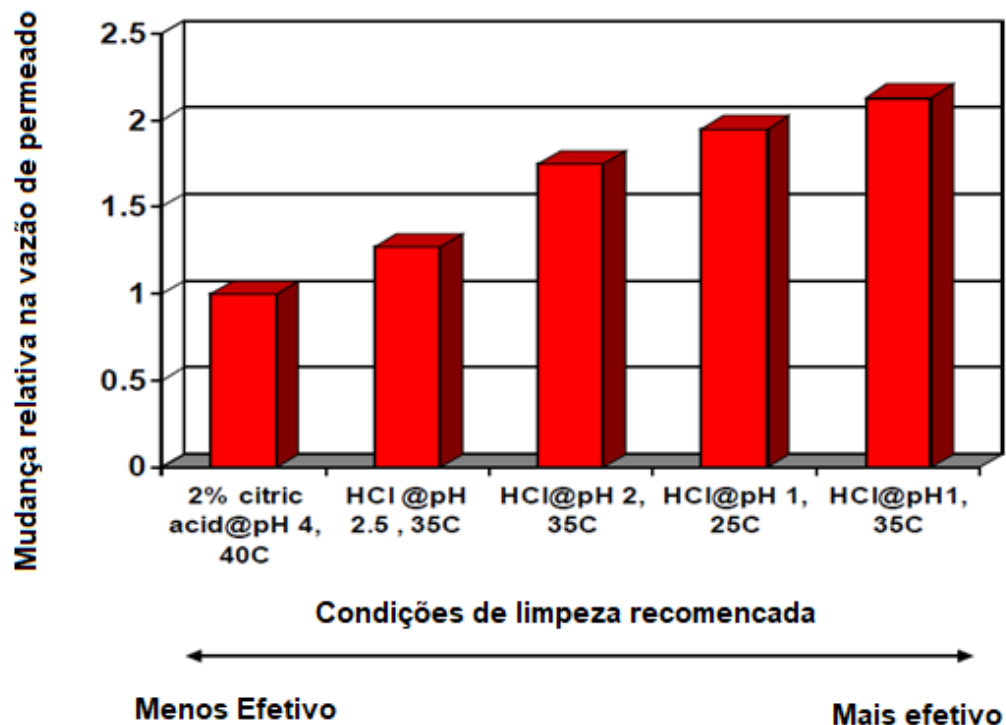


FIGURA 8 - PH DE LIMPEZA ÁCIDA

Fonte: (DOW WATER & PROCESS SOLUTIONS)

É imperativo que a limpeza básica seja feita antes da limpeza ácida. Isto porque o biofilme quando submetido a um pH ácido cristaliza na superfície da membrana gerando um aumento de pressão de operação do sistema. Após cristalizado o biofilme não consegue ser removido. Este processo repetido várias vezes levaria a uma perda das membranas de osmose reversa.

- Remoção de sólidos suspensos

Os sólidos suspensos entram e se alojam no interior das membranas, isso faz com que não haja uma alternativa viável não destrutiva para a remoção deste tipo de incrustação. A única alternativa neste caso é a substituição da membrana que apresenta sólidos.

2.3 ENERGIA SOLAR

Energia solar é a fonte, direta ou indireta, de toda energia existente na Terra. A energia solar pode ser aproveitada por plantas para seu desenvolvimento através do processo de fotossíntese. Estas plantas podem ser então incineradas para geração de vapor e consequente movimentação de máquinas térmicas, gerando energia elétrica, ou também podem ser incineradas para geração de energia térmica para outros usos. As plantas também podem ser fontes de alimento para outros seres vivos que, após seu consumo, irão gerar biomassa que também pode ser aproveitada para geração de energia térmica ou elétrica.

As correntes de ar também são originárias da incidência de luz solar sobre a superfície da Terra permitindo o aproveitamento eólico para geração de energia elétrica.

Apesar de todos os métodos de obtenção de energia existentes, eles dependem que a luz solar seja processada por outros processos físicos, químicos ou biológicos. A energia fotovoltaica é única já que aproveita diretamente a luz solar para a geração de energia elétrica. (HONSBERG e BOWDEN, 2018)

2.3.1 Energia solar fotovoltaica

Como a conversão fotovoltaica é a única que é capaz de converter a energia solar diretamente em energia elétrica, sem processos intermediários, os painéis fotovoltaicos são a melhor opção para sistemas remotos que desejam operar fora de uma rede de distribuição de energia elétrica.

2.3.2 Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica

As células fotovoltaicas operam com a incidência de luz solar. Os fótons presentes na luz solar que incidem sobre a célula solar podem ser refletidos pela superfície da célula, podem ser absorvidos ou podem transmitidos pela superfície semicondutora. Somente quando há absorção do fóton pelas camadas semicondutoras que há a possibilidade geração de energia elétrica. (HONSBERG e BOWDEN, 2018)

Quando um fóton absorvido possuir energia suficiente para remover um elétron da camada de valência será gerado um elétron de banda de condução apto a circular no circuito externo. (HONSBURG e BOWDEN, 2018)

2.3.3 Principais parâmetros de módulos fotovoltaicos

Para auxiliar a comparação e dimensionamento de sistema de geração de energia elétrica fotovoltaica, os módulos são submetidos a um teste para verificar alguns parâmetros operacionais. Estes parâmetros são utilizados no cálculo da potência nominal dos painéis durante a operação.

2.3.3.1 Corrente e voltagem

A voltagem de circuito aberto (V_{oc}) é tensão elétrica entre os terminais do módulo fotovoltaico e a corrente de curto circuito (I_{sc}) é corrente elétrica apresentada quando não há adição de nenhuma carga elétrica. (SOWMY, 2017).

Estes parâmetros podem ser verificados na curva I-V da célula fotovoltaica representada na figura 9 que é obtida através dos testes realizados com a célula fotovoltaica. Os fabricantes das células devem informar estes valores nas folhas de dados de cada painel solar.

A curva I-V também é utilizada para verifica os parâmetros de corrente e voltagem de máxima potência (I_{mp} e V_{mp}). Estes parâmetros são utilizados para verificar o valor de máxima potência da célula testada e a eficiência do módulo.

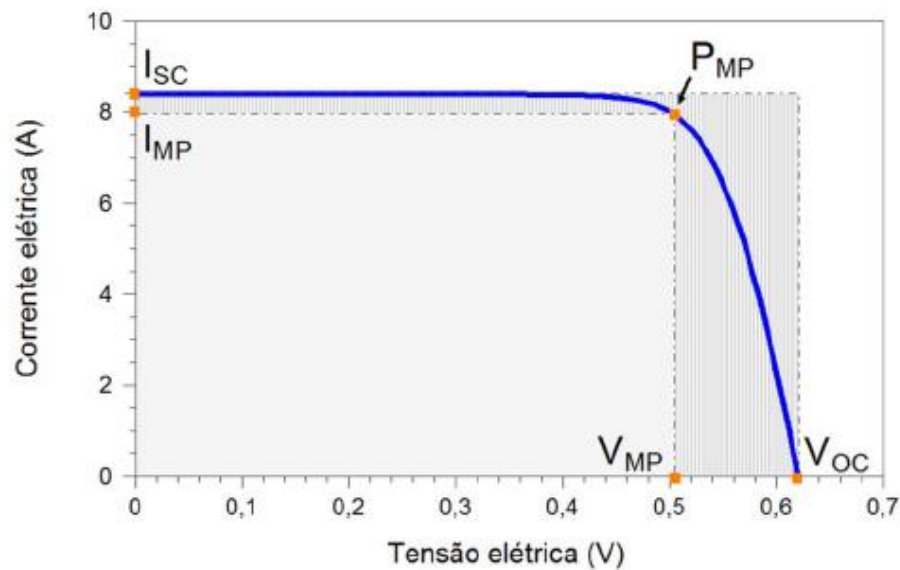


FIGURA 9 - CURVA I-V DE UMA CÉLULA FOTOVOLTÁICA

Fonte: (PINHO e GALDINO, 2014)

2.3.3.2 Temperatura

Devido a exposição da célula a radiação solar a mesma também sofrerá alterações de temperatura. A temperatura influencia na operação das células fotovoltaicas alterando os parâmetros da curva I-V, consequentemente alterando a posição da corrente e voltagem de máxima potência. Na figura 10 temos uma representação de como uma célula específica se comporta sob o efeito de diferentes temperaturas.

Como é possível verificar na figura 10 a voltagem de circuito aberto da célula é diretamente afetada pela temperatura da célula, enquanto a corrente de circuito aberto tem pouca alteração com a temperatura.

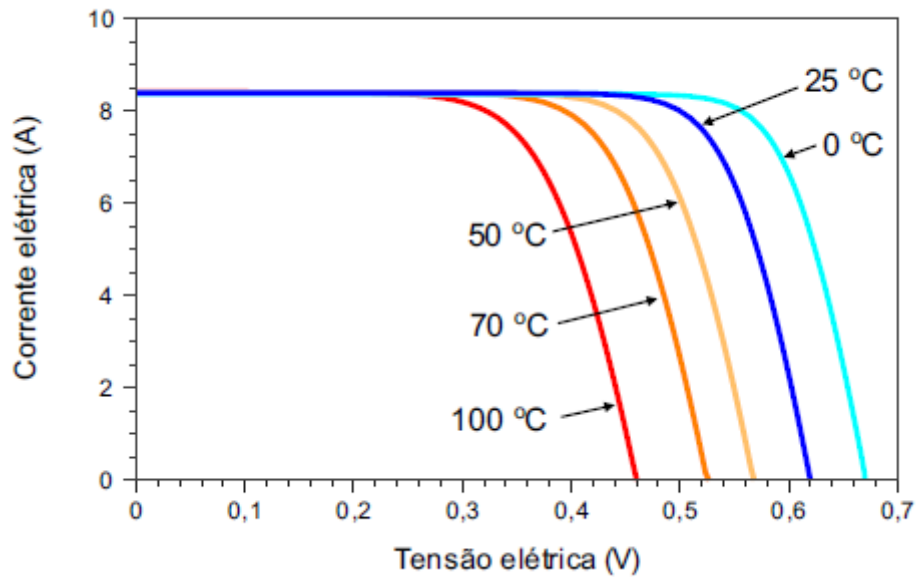


FIGURA 10 - CURVA I-V DE UMA CÉLULA FOTOVOLTÁICA

Fonte: (PINHO e GALDINO, 2014)

A temperatura de operação da célula pode ser calculada utilizando a equação 1 seguinte:

$$T_c = T_a + \frac{G_t}{800} * (T_{NOC} - 20) * 0,9 \quad (1)$$

Onde

- T_c : temperatura de célula[°C]
- T_a : temperatura ambiente [°C]
- G_t : radiação solar média no plano da célula [W/m²]
- T_{noc} : temperatura nominal de operação da célula

2.3.3.3 Potência nominal

A potência nominal é a potência de geração elétrica do painel em condição de pico de incidência solar. (SOWMY, 2017).

Devido a variação de irradiação solar e temperatura ao longo do dia a célula fotovoltaica irá ter potências nominais variáveis. Para calcular a potência nominal da

célula em um determinado período será utilizado o modelo descrito por Zilles (ZILLES, GALHARDO, *et al.*, 2012)

A equação 2 utilizada para calcular a potência nominal do painel fotovoltaico

$$P = P_{mp} * \frac{G_t}{G_{stc}} * [1 + \gamma_{mp} * (T_c - T_c^o)] \quad (2)$$

Onde

- P: potência do painel fotovoltaico [W]
- P_{mp} : potência nominal de teste [W]
- G_{stc} : radiação solar nas condições de teste STC[W/m²]
- γ_{mp} : coeficiente de temperatura de máxima potência [1/C°]
- T_c : temperatura da célula fotovoltaica [C°]

2.3.4 Componentes do sistema

Armazenadores ou baterias são utilizados para armazenar energia elétrica gerada não consumida. Os mesmo também podem aumentar a autonomia de equipamentos instalados em sistemas *off-grid*. (SOWMY, 2017)

A capacidade total de carga do sistema de baterias pode ser cálculo seguindo a seguinte equação 3:

$$E_{bateria} = \frac{E_{consumo}}{P_d} \quad (3)$$

Onde

- $E_{bateria}$: bateria armazenada nas baterias [Wh]
- $E_{consumo}$: energia consumida [Wh]
- P_d : profundidade de descarga

Controlador de carga: utilizado para distribuir a energia gerada direcionando a energia para os armazenadores e/ou para a demanda do equipamento. O controlador carrega as baterias quando há excesso de geração ou utiliza a energia das baterias para alimentar o sistema quando não há geração suficiente. (SOWMY, 2017)

Inversor de frequência: converte a corrente gerada pelos painéis de corrente contínua para a corrente alternada. O inversor também sincroniza as fases em caso de conexão com a rede elétrica. (SOWMY, 2017)

2.3.5 Principais parâmetros de conjunto de módulos fotovoltaicos

Módulos fotovoltaicos possuem valores máximos de potência elétrica que podem ser gerados. Em sistemas em que a demanda elétrica é maior que a potência gerada por um único painel fotovoltaico é possível combinar estes painéis em conjuntos para aumentar a potência total gerada pelo sistema, porém a combinação de painéis gera outras variáveis que devem ser consideradas no dimensionamento do sistema.

2.3.5.1 Sombreamento de painéis

Painéis fotovoltaicos instalados em conjunto podem causar sombreamento nos painéis próximos a eles. Isto ocorre devido ao grau de inclinação de instalação do painel. Podemos verificar o fenômeno de sombreamento na figura 9. Para evitar este efeito de sombreamento, que levaria a uma perda de potência gerada, é necessário que os painéis sejam instalados a uma distância mínima que é determinada pelo ângulo zenital solar.

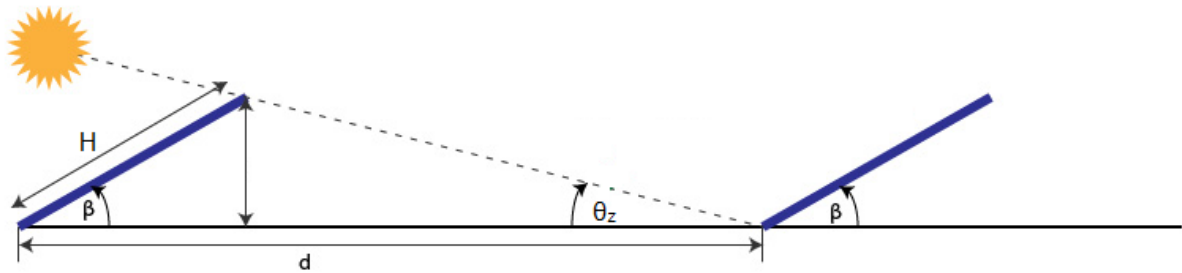


FIGURA 11 - SOMBREAMENTO SOLAR

Fonte: (GREEN RHINO ENERGY, 2018)

Na figura 9 temos as seguintes variáveis:

- H: comprimento do painel,
- d: distância mínima entre painéis para evitar sombreamento
- β : ângulo de inclinação do painel
- θ_z : ângulo zenital

A formula de cálculo do ângulo zenital pode ser resumida na equação 4:

$$\cos\theta_z = \sin(\delta) * \sin(\phi) + \cos(\delta) * \cos(\phi) * \cos(\omega) \quad (4)$$

Onde

- δ : Declinação
- ϕ : Latitude do local
- ω : ângulo horário

As variáveis de declinação e ângulo horário são calculadas pelas seguintes equações:

$$HS = HL + Corhora \quad (5)$$

$$Corhora = \frac{4 \times (L_0 - L) + E}{60} \quad (6)$$

$$E = 9,87 \times \sin(2B) - 7,53 \times \cos(B) - 1,5 \times \sin(B) \quad (7)$$

$$n = dia + (mês - 1) \times 30 + Cor \quad (8)$$

$$Se\ mes \leq 2 \rightarrow Cor = Int\left(\frac{mês}{2}\right) \quad (9)$$

$$Se\ 2 < mês \leq 8 \rightarrow Cor = Int\left(\frac{mês}{2}\right) - 2 \quad (10)$$

$$Se\ mês > 8 \rightarrow Cor = Int\left(\frac{mês}{2} + \frac{1}{2}\right) - 2 \quad (11)$$

$$B = \left(\frac{360}{364}\right) \times (n - 81) \quad (12)$$

onde

- Corhora: Correção da hora
- HS: hora solar
- HL: hora legal
- Int: menor número inteiro
- L: Longitude local
- L₀: Longitude hora legal
- n: dia do ano

2.3.6 Avaliação de irradiação solar

Devido a variação da irradiação solar ao longo do dia será necessário calcular a irradiação total hora a hora. Desta forma será possível analisar o quanto de energia foi fornecida pelo sol hora a hora e dimensionar a quantidade de painéis a serem

utilizados e quantas baterias que serão necessárias para energizar o sistema de tratamento de água. Para elaborar o cálculo será o considerado o método de Liu-Jordan (1962) modificado por Klein (1977).

$$\bar{H}_t = \bar{H} \left(1 - \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} \right) \bar{R}_b + \bar{H}_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + H * \rho \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (13)$$

Inicialmente deve ser considerado a localização para onde será instalado os painéis fotovoltaicos. Com a localização é possível obter os seguintes dados:

- δ : Declinação

$$\delta = 23,45 * \sin \left[\frac{360}{365} * (284 + n) \right] \quad (14)$$

- ϕ : Latitude do local

Obtido via coordenadas geográficas do local

- ω_s : ângulo horário do pôr do sol

$$\omega_s = \arccos(-\tan \phi * \tan \delta) \quad (15)$$

- ρ : refletividade do solo (0,2 para vegetação)
- $\bar{H}_0$: irradiação solar integrada média diária mensal sobre a superfície horizontal (J/m² dia)

Este valor é obtido através da tabela desenvolvida por Duffie e Beckman.

ϕ	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
90	0.0	0.0	1.2	19.3	37.2	44.8	41.2	26.5	5.4	0.0	0.0	0.0
85	0.0	0.0	2.2	19.2	37.0	44.7	41.0	26.4	6.4	0.0	0.0	0.0
80	0.0	0.0	4.7	19.6	36.6	44.2	40.5	26.1	9.0	0.6	0.0	0.0
75	0.0	0.7	7.8	21.0	35.9	43.3	39.8	26.3	11.9	2.2	0.0	0.0
70	0.1	2.7	10.9	23.1	35.3	42.1	38.7	27.5	14.8	4.9	0.3	0.0
65	1.2	5.4	13.9	25.4	35.7	41.0	38.3	29.2	17.7	7.8	2.0	0.4
60	3.5	8.3	16.9	27.6	36.6	41.0	38.8	30.9	20.5	10.8	4.5	2.3
55	6.2	11.3	19.8	29.6	37.6	41.3	39.4	32.6	23.1	13.8	7.3	4.8
50	9.1	14.4	22.5	31.5	38.5	41.5	40.0	34.1	25.5	16.7	10.3	7.7
45	12.2	17.4	25.1	33.2	39.2	41.7	40.4	35.3	27.8	19.6	13.3	10.7
40	15.3	20.3	27.4	34.6	39.7	41.7	40.6	36.4	29.8	22.4	16.4	13.7
35	18.3	23.1	29.6	35.8	40.0	41.5	40.6	37.3	31.7	25.0	19.3	16.8
30	21.3	25.7	31.5	36.8	40.0	41.1	40.4	37.8	33.2	27.4	22.2	19.9
25	24.2	28.2	33.2	37.5	39.8	40.4	40.0	38.2	34.6	29.6	25.0	22.9
20	27.0	30.5	34.7	37.9	39.3	39.5	39.3	38.2	35.6	31.6	27.7	25.8
15	29.6	32.6	35.9	38.0	38.5	38.4	38.3	38.0	36.4	33.4	30.1	28.5
10	32.0	34.4	36.8	37.9	37.5	37.0	37.1	37.5	37.0	35.0	32.4	31.1
5	34.2	36.0	37.5	37.4	36.3	35.3	35.6	36.7	37.2	36.3	34.5	33.5
0	36.2	37.4	37.8	36.7	34.8	33.5	34.0	35.7	37.2	37.3	36.3	35.7
-5	38.0	38.5	37.9	35.8	33.0	31.4	32.1	34.4	36.9	38.0	37.9	37.6
-10	39.5	39.3	37.7	34.5	31.1	29.2	29.9	32.9	36.3	38.5	39.3	39.4
-15	40.8	39.8	37.2	33.0	28.9	26.8	27.6	31.1	35.4	38.7	40.4	40.9
-20	41.8	40.0	36.4	31.3	26.6	24.2	25.2	29.1	34.3	38.6	41.2	42.1
-25	42.5	40.0	35.4	29.3	24.1	21.5	22.6	27.0	32.9	38.2	41.7	43.1
-30	43.0	39.7	34.0	27.2	21.4	18.7	19.9	24.6	31.2	37.6	42.0	43.8
-35	43.2	39.1	32.5	24.8	18.6	15.8	17.0	22.1	29.3	36.6	42.0	44.2
-40	43.1	38.2	30.6	22.3	15.8	12.9	14.2	19.4	27.2	35.5	41.7	44.5
-45	42.8	37.1	28.6	19.6	12.9	10.0	11.3	16.6	24.9	34.0	41.2	44.5
-50	42.3	35.7	26.3	16.8	10.0	7.2	8.4	13.8	22.4	32.4	40.5	44.3
-55	41.7	34.1	23.9	13.9	7.2	4.5	5.7	10.9	19.8	30.5	39.6	44.0
-60	41.0	32.4	21.2	10.9	4.5	2.2	3.1	8.0	17.0	28.4	38.7	43.7
-65	40.5	30.6	18.5	7.9	2.1	0.3	1.0	5.2	14.1	26.2	37.8	43.7
-70	40.8	28.8	15.6	5.0	0.4	0.0	0.0	2.6	11.1	24.0	37.4	44.9
-75	41.9	27.6	12.6	2.4	0.0	0.0	0.0	0.8	8.0	21.9	38.1	46.2
-80	42.7	27.4	9.7	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	20.6	38.8	47.1
-85	43.2	27.7	7.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	20.3	39.3	47.6
-90	43.3	27.8	6.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	20.4	39.4	47.8

FIGURA 12 - MÉDIA DIÁRIA MENSAL DE RADIAÇÃO SOLAR POR LATITUDE (MJ/m².dia)

Fonte: (DUFFIE e BECKMAN, 2013)

- $\bar{H}$: irradiação solar média diária mensal sobre superfície horizontal

A irradiação solar média é obtida através de piranômetros. Os dados podem obtidos através do site do CRESESB – Centro de referência para energia solar e eólica Sérgio de S. Brito

- $\bar{K}_T$: índice de claridade diário médio mensal

$$\bar{K}_t = \frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} \quad (16)$$

- $\bar{H}_d$: componente difuso de irradiação solar diária média mensal sobre a superfície horizontal (MJ/m² dia)

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 0,775 + 0,00653 * (\omega_s - 90 - [0,505 + 0,00455(\omega_s - 90)]) * \cos(115 * \bar{K}_t - 103) \quad (17)$$

Além da localização é necessário considerar também os dados que são dependentes da construção do conjunto de painéis solares como:

- β : ângulo de inclinação da superfície coletora

O valor do ângulo β pode variar entre 0° e 90°, onde 0° são os painéis paralelos a superfície e 90° os painéis perpendiculares a superfície.

- $\bar{H}_b$: componente direto de irradiação solar diária média mensal sobre a superfície horizontal (MJ/m² dia)
- $\bar{H}_{bt}$: componente direto de irradiação solar diária média mensal sobre a superfície inclinada (MJ/m² dia)
- $\bar{R}_b$: razão entre $\bar{H}_{bt}/\bar{H}_b$

$$\bar{R}_b = \frac{\bar{H}_{bt}}{\bar{H}_b} \quad (18)$$

$$\bar{R}_b = \frac{\cos\phi * \cos\delta * \sin\omega_s + \left(\frac{\pi}{180}\right) \omega_s^* * \sin\phi * \sin\delta}{\cos(\phi + \beta) * \cos\delta * \sin\omega_s + \left(\frac{\pi}{180}\right) \omega_s^* * \sin(\phi + \beta) * \sin\delta} \quad (19)$$

$$\omega_s^* = \text{minimo entre } [\arccos(-\tan\phi * \tan\delta)] \text{ e } [\arccos(-\tan(\phi + \beta) * \tan(\delta))]] \quad (20)$$

Formulas para hemisfério sul com orientação norte

- $\bar{H}_t$: irradiação solar média diária mensal sobre a superfície inclinada (MJ/m² dia)

$$\bar{H}_t = \bar{H} \left(1 - \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}}\right) \bar{R}_b + \bar{H}_d \left(\frac{1 + \cos\beta}{2}\right) + H * \rho \left(\frac{1 - \cos\beta}{2}\right) \quad (21)$$

Com os valores cálculos acima é possível iniciar o cálculo das componentes horárias da radiação solar para qualquer dia no ano. O cálculo da componente horária é calculado pela equação 24

$$I_T = I_b * R_b + I_d * R_d + (I_b + I_d) * \rho * R_{ds} \quad (22)$$

Onde:

- I_b : é a componente integrada horária da irradiação solar por radiação direta em superfície horizontal (J/m²)

$$I_b = I - I_d \quad (23)$$

- I_d : é a componente integrada horária da irradiação solar por radiação difusa em superfície horizontal (J/m²)

$$r_d = \frac{I_d}{H_d} \quad (24)$$

$$r_d = \frac{\pi}{24} * \frac{\cos\omega - \cos\omega_s}{\sin\omega_s - \frac{\pi * \omega_s}{180} * \cos\omega_s} \quad (25)$$

- I: é a componente integrada horária da irradiação solar em superfície horizontal (J/m²)

$$r_t = \frac{I_d}{H_d} \quad (26)$$

$$r_t = \frac{\pi}{24} * (a + b * \cos\omega) * \frac{\cos\omega - \cos\omega_s}{\sin\omega_s - \frac{\pi * \omega_s}{180} * \cos\omega_s} \quad (27)$$

$$a = 0,409 + 0,5016 * \sin(\omega_s - 60) \quad (28)$$

$$b = 0,6609 - 0,4767 * \sin(\omega_s - 60) \quad (29)$$

- R_b: razão diária entre radiação direta no plano inclinado e radiação direta no plano horizontal

$$R_b = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} \quad (30)$$

- R_d: razão diária entre radiação direta no plano inclinado e radiação difusa no plano horizontal

$$R_d = \left(\frac{1 + \cos\beta}{2} \right) \quad (31)$$

- R_{ds} : razão diária entre radiação direta no plano inclinado e radiação refletida no plano horizontal

$$R_{ds} = \left(\frac{1 - \cos\beta}{2} \right) \quad (32)$$

3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

3.1 LOCALIDADE

A localidade escolhida para a realização do estudo foi o município de Santana do Mato – RN. O município possui uma população estimada de 13.289 segundo censo realizado em 2010 pelo IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (IBGE, 2010) e considerando uma média de 100 litros de água por habitante por dia a cidade terá um consumo médio diário de 1.328 metros cúbicos de água.

A água subterrânea da região do município de Santana do Mato possui um alto índice de salobridade. Em uma análise de água de poço feita na região do bairro de Barrocas pode se verificar vários compostos que inviabilizam o consumo direto de água de poço, sendo recomendado um sistema de osmose reversa para remover estes íons dissolvidos para atingir os valores máximos permitidos - VMP. A análise feita pode ser verificada no anexo 3.

3.2 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE FILTRAÇÃO

O sistema de osmose reversa proposto terá a capacidade de produzir até 15 metros cúbicos de água tratada por hora quando estiver operando, porém, sua operação poderá não ser constante. Apesar de possuir a capacidade de operar 24 horas por dia o sistema deste estudo não poderá operar ininterruptamente ao longo do dia pois sua fonte de energia elétrica será intermitente. Devido a variação da incidência de raios solares ao longo dos meses do ano a quantidade produzida mensalmente sofrerá alterações. Para minimizar efeitos da variação da quantidade de água produzida será considerado um ou mais tanques de armazenamento de água tratada.

3.2.1 Sistema de osmose reversa

Inicialmente deve ser analisado a quantidade de membranas que devem compor o sistema, para isso devemos analisar:

- Vazão de água permeada desejada
- Qualidade de água de alimentação do sistema
- Área por membrana

A vazão de água permeada considerada é de 15000 litros por hora. Para a qualidade da água de alimentação a tabela 3 indica as taxas recomendáveis. Na qualidade de água de poço é sugerida a taxa de filtração de 27 a 34 litros por hora por m² de membrana filtrante. Com estas informações se adotará uma área de membrana de 400 pés², ou aproximadamente 37,2m², conforme folha de dados da membrana (DOW WATER, 2018).

A equação 33 permite correlacionar estas variáveis:

$$n = \frac{Vp}{T * A} \quad (33)$$

Onde:

- A: área da membrana [m²]
- V_p: vazão de permeado [l/h]
- T: taxa de filtração [l/m²/h]
- n: número de membranas

Temos então que:

$$n = \frac{15000}{27 * 37,2}$$

$$n \cong 15 \text{ membranas}$$

Definida a quantidade de membrana podemos traçar dois cenários para verificar qual o modelo de membrana que seria mais adequado ao sistema

- **Cenário 1 - sistema de osmose reversa operando com membranas de alta rejeição**
- **Cenário 2 - sistema de osmose reversa operando com membranas de baixa rejeição**

As membranas de osmose reversa de alta rejeição têm maior consumo energético que as de baixa rejeição devido a maior pressão necessária para operar o sistema, porém elas produzem uma água com uma quantidade de sais menor. Como a qualidade de água que sairá após o sistema estará abaixo dos limites da portaria 2914/2011, como foi demonstrado nas projeções dos apêndices 2 e 3, será possível misturar a água de poço com a água tratada sem que os sais fiquem acima do máximo permitido na portaria 2914/2011, aumentando dessa forma a quantidade de água total produzida. Esta mistura na água será denominada de *by-pass*.

Para simular as projeções da osmose reversa foi utilizado o software ROSA (Reverse Osmosis System Analysis) da DOW Química. Na tabela 4 temos os resultados das projeções obtidas.

TABELA 4 - RESULTADO DE SIMULAÇÕES

Fonte: Apêndices 1 e 2

Parâmetro	Cenário 1	Cenário 2	Limite permissível portaria 2914/2011	Unidade
Modelo da membrana	BW30-400	LE-400	-	-
Pressão	11,20	7,77	-	bar
Recuperação	75%	75%	-	-
Vazão de água de alimentação	20	20	-	m³/h
Vazão de água tratada	15	15	-	m³/h
Vazão de água <i>bypass</i>	0	0	-	m³/h
Vazão de água total	15	15	-	m³/h
pH	6,05	6,32	6,0 a 9,5	-
Sólidos dissolvidos	13,67	22,56	1000	mg/l
Sódio	2,83	4,70	200	mg/l
Sulfato	0,56	0,91	250	mg/l
Cloreto	4,55	7,60	250	mg/l

Em ambos cenários a única variável alterada foi o tipo da membrana utilizada, o restante das variáveis permaneceu constante.

Conforme os resultados da tabela 4 a qualidade da água tratada é bem inferior ao da portaria 2914/2011. Simulando novamente, considerando a mistura de água temos os resultados demonstrados na tabela 5.

TABELA 5 - RESULTADO DE SIMULAÇÕES 2

Fonte: Apêndices 3 e 4

Parâmetro	Cenário 1	Cenário 2	Limite permissível portaria 2914/2011	Unidade
Modelo da membrana	BW30-400	LE-400	-	-
Pressão	11,70	7,77	-	bar
Recuperação	75%	75%	-	-
Vazão de água de alimentação	20	20	-	m ³ /h
Vazão de água tratada	15	15	-	m ³ /h
Vazão de água <i>by-pass</i>	10	10	-	m ³ /h
Vazão de água total	25	25	-	m ³ /h
pH	7,4	7,4	6,0 a 9,5	-
Sólidos dissolvidos	431,85	437,39	1000	mg/l
Sódio	80,70	81,86	200	mg/l
Sulfato	44,86	45,09	250	mg/l
Cloreto	174,55	176,44	250	mg/l

Pela tabela 5 é possível verificar que a membrana de alta rejeição operará em uma pressão cerca de 44% maior que a membrana de baixa rejeição, porém não haverá alteração na vazão total do sistema. Podemos concluir então que apesar das membranas de alta rejeição conseguirem produzir uma água melhor esta vantagem não será significativa quando misturamos com a água do poço. Quando incluimos o dimensionamento da bomba no cenário 1 e 2 temos uma economia energética expressiva no sistema de osmose reversa. Para o cenário 1 foi escolhida a bomba modelo CR 15-7 do fabricante Grundfos que atinge a pressão de 11,7 bar a uma vazão de 20m³/h, enquanto para o cenário 2 foi escolhida a bomba modelo CR 15-6 que atinge uma pressão de 7,77 bar a uma vazão de 20m³/h. Podemos verificar as curvas de vazão por pressão e analisar a potência da bomba CR15-9 nas figuras 13 e 14 e da bomba CR15-6 na figura 15 e 16.

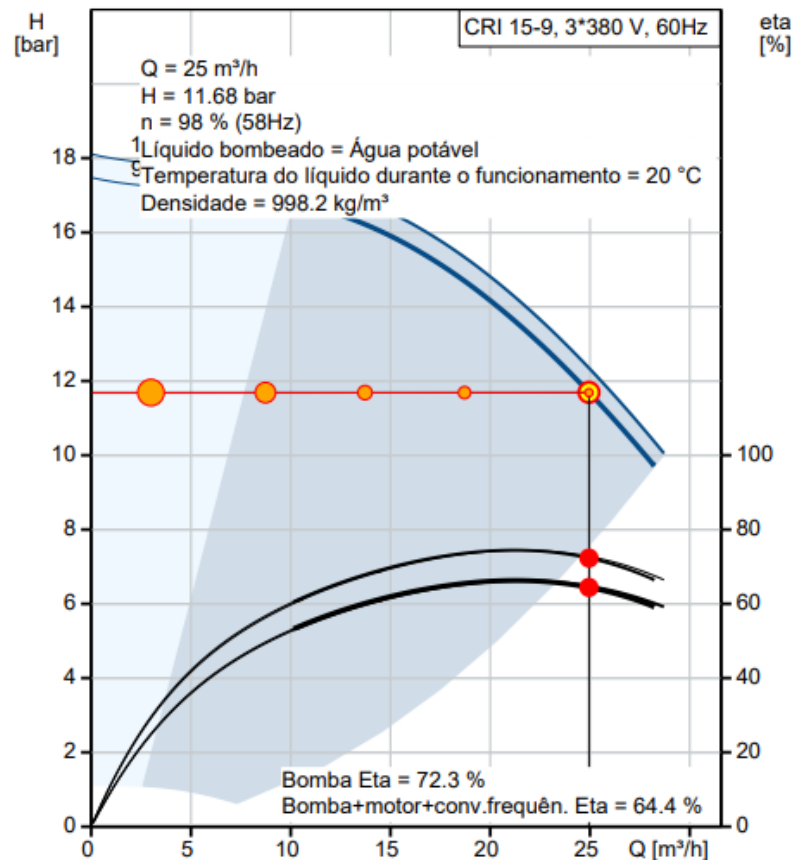


FIGURA 13 - CURVA VAZÃO X PRESSÃO DA BOMBA CR15-9

Fonte: (GRUNDFOS, 2018)

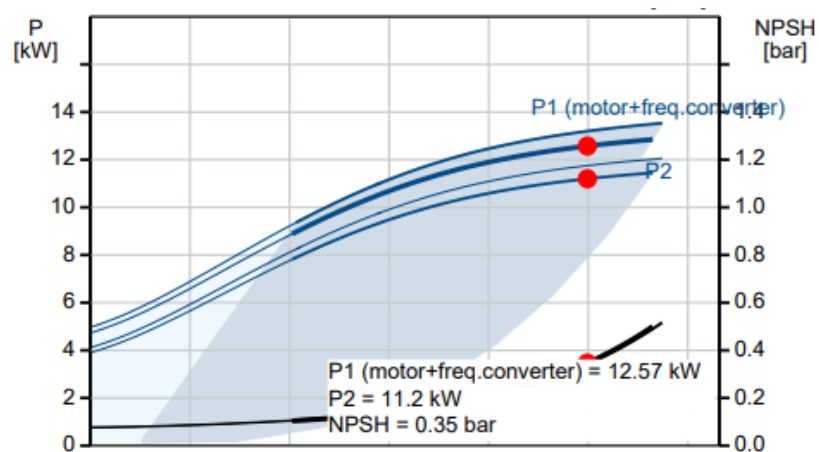


FIGURA 14 - CURVA DE POTÊNCIA DA BOMBA CR15-9

Fonte: (GRUNDFOS, 2018)

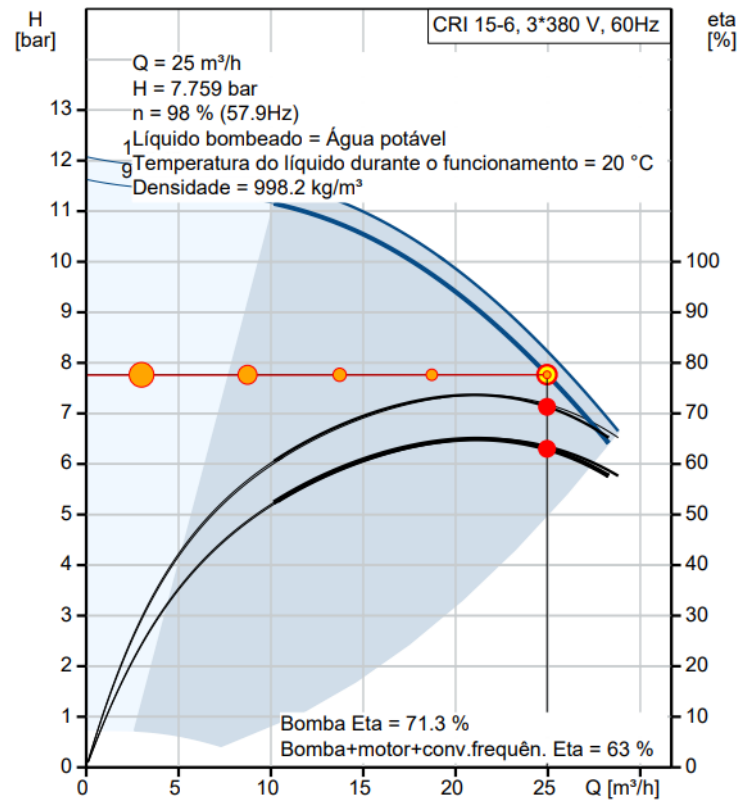


FIGURA 15 - CURVA VAZÃO X PRESSÃO DA BOMBA CR15-6

Fonte: (GRUNDFOS, 2018)

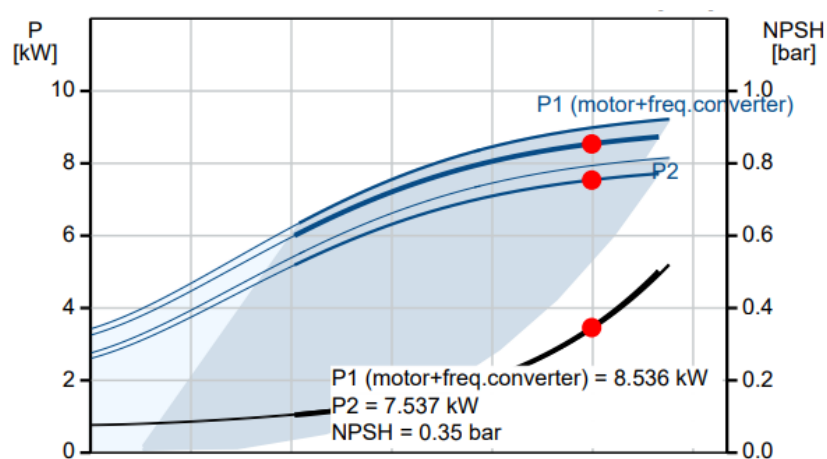


FIGURA 16 - CURVA DE POTÊNCIA DA BOMBA CR15-6

Fonte: (GRUNDFOS, 2018)

Analisando as figuras 13 e 15 pode-se verificar que ambos os cenários 1 e 2 irão produzir a mesma quantidade de água em um determinado período com a mesma qualidade, porém o cenário 1 possui uma potência energética de 12,57 kW enquanto o cenário 2 possui um gasto energético de 8,54kW. Concluiu-se que é possível reduzir a potência elétrica do sistema alterando somente os modelos das membranas e a consequente redução do uso de painéis para a energização do sistema. Deste modo o cenário 1 está descartado por não apresentar vantagem sobre o cenário 2 e a bomba escolhida para a pressurização do sistema de osmose reversa foi o modelo CR15-6.

A figura 17 e tabela 6 mostra um fluxograma resumido do sistema de osmose reversa assim como vazão e pressão de operação em cada etapa.

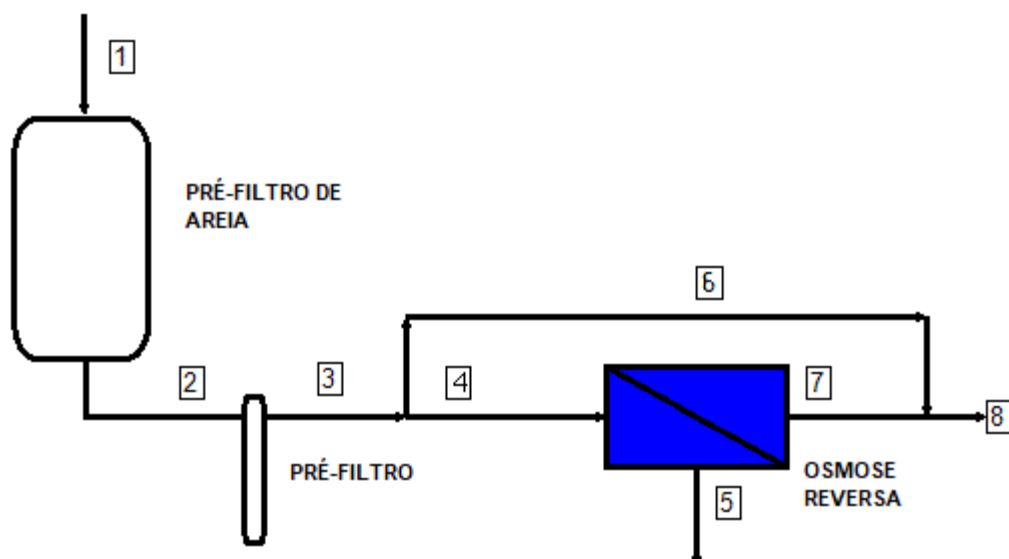


FIGURA 17 - FLUXOGRAMA DA OSMOSE REVERSA

Fonte: Próprio autor

TABELA 6 - PARAMETROS DA OSMOSE

Fonte: Próprio autor

Posição	Vazão	Pressão
1	30,0 m ³ /h	3 bar
2	30,0 m ³ /h	3 bar
3	30,0 m ³ /h	3 bar
4	20,0 m ³ /h	7,7 bar
5	5,0 m ³ /h	5,37 bar
6	10,0 m ³ /h	3 bar
7	15,0 m ³ /h	3 bar
8	25,0 m ³ /h	3 bar

Além da bomba de pressurização o sistema de osmose reversa ainda possui uma bomba para limpeza química. A bomba de limpeza química deve garantir uma vazão entre 6 a 10m³/h por vaso de pressão de osmose reversa para garantir uma limpeza eficiente. Como neste caso serão 3 vasos de pressão com 5 membranas em cada vaso a vazão considerada será de 30m³/h e pressão de 3 bar. O modelo da bomba escolhida foi a CR20-3 da Grundfos. Pode se verificar a curva de vazão por pressão da bomba CR20-3 na figura 18 e a curva de potência da bomba CR20-30 na figura 19.

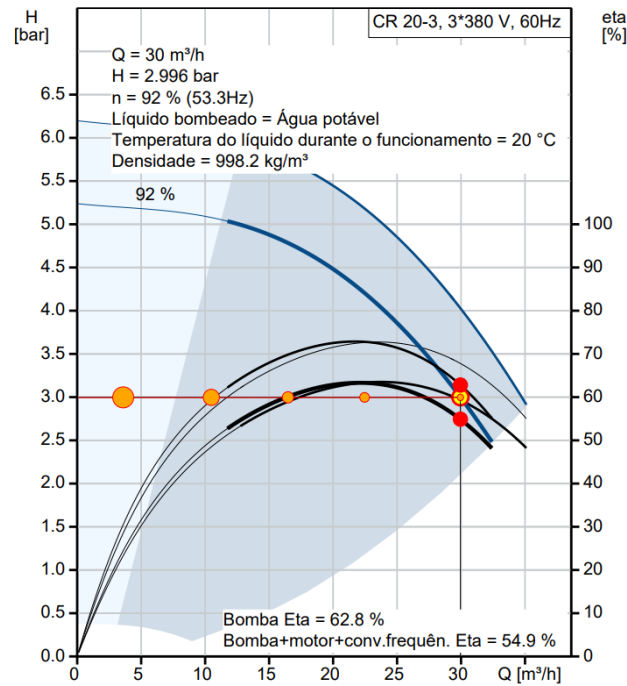


FIGURA 18 - CURVA DE PRESSÃO E VAZÃO BOMBA CR20-3

Fonte: (GRUNDFOS, 2018)

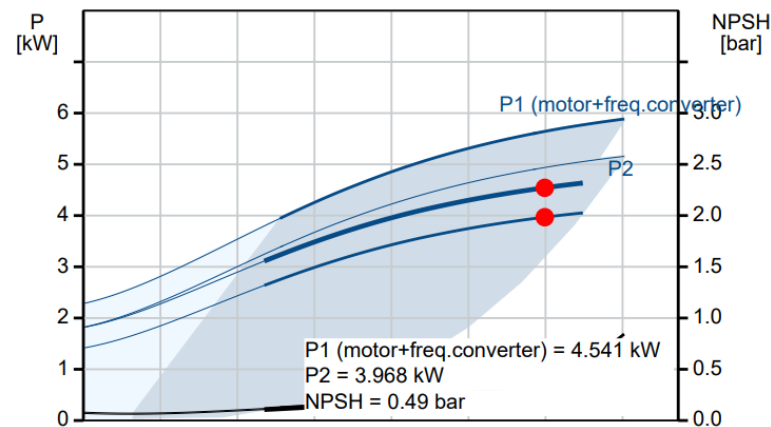


FIGURA 19 - CURVA DE POTÊNCIA DA BOMBA CR20-3

Fonte: (GRUNDFOS, 2018)

3.2.2 Sistema de pré-filtragem

O sistema de pré-filtragem será composto de filtros que visam proteger as membranas de incrustações de sólidos suspensos e matéria orgânica.

- Sólidos suspensos

Para remoção de sólidos suspensos será utilizado um filtro de areia seguido de um filtro de polipropileno expandido de 5 micra. O filtro de areia deve ser instalado antes do filtro de 5 micra por dois motivos, primeiro pois ele possui a capacidade de retrolavar e segundo pois o filtro de areia tem capacidade de retenção de partículas de 25 micra (NATURALTEC, 2018).

A capacidade de retrolavar auxilia na redução de custo operacional do projeto já que instalar um filtro antes reduz a quantidade de sólidos no próximo filtro.

O filtro de 5 micras deve ser trocado quando seu diferencial de pressão estiver acima do recomendado, este efeito representa um filtro sujo que é a melhor análise para indicar a periodicidade de troca do filtro.

Apesar da turbidez da água estar baixa será considerada a coluna de água suja da figura 20, desta forma o filtro conseguirá filtrar a água mesmo com variação na água do poço.

Filtração de Água de boa qualidade ou suja				
MODELO PRFV Ø x h	Vazão Padrão (m³/h)	Água Potável (m³/h)	Água Potável (*) (m³/h)	Água Suja (m³/h)
6" x 35"	0,45	0,28	0,36	0,20
7" x 44"	0,62	0,49	0,63	0,35
8" x 44"	0,81	0,63	0,81	0,45
9" x 48"	1,05	0,88	1,13	0,63
10" x 54"	1,30	1,37	1,77	0,98
12" x 52"	1,87	1,88	2,42	1,35
13" x 54"	2,18	2,30	2,96	1,64
14" x 65"	2,50	3,13	4,03	2,24
16" x 65"	3,37	3,98	5,11	2,84
18" x 65"	4,21	4,74	6,09	3,39
21" x 62"	5,74	7,61	9,78	5,43
24" x 72"	7,50	10,73	13,79	7,66
30" x 72"	11,74	16,68	21,44	11,91
36" x 72"	16,90	24,58	31,60	17,56
42" x 72"	22,98	30,61	39,36	21,87
48" x 72"	30,31	42,49	54,63	30,35
63" x 86"	51,76	76,85	98,80	54,89

FIGURA 20 - TABELA DE FILTROS DE AREIA

Fonte: (NATURALTEC, 2018)

Considerando que a vazão de filtragem será de $30\text{m}^3/\text{h}$, para o filtro de areia será utilizado um tanque $48'' \times 72''$ conforme descrito na figura 20. O filtro irá receber água diretamente da bomba de poço que alimenta todo sistema. O modelo desta bomba será a SP30-7 da Grundfos. A figura 21 mostra a curva de pressão por vazão da bomba SP30-7 e a figura 22 mostra a curva de potência da bomba SP30-7.

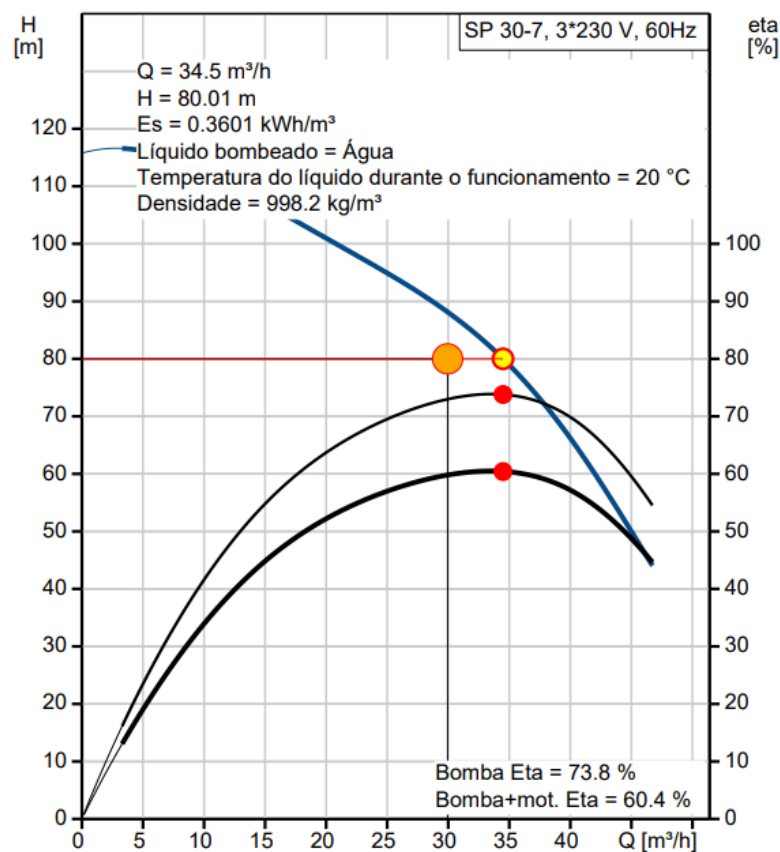


FIGURA 21 - CURVA DE PRESSÃO E VAZÃO BOMBA SP30-7

Fonte: (GRUNDFOS, 2018)

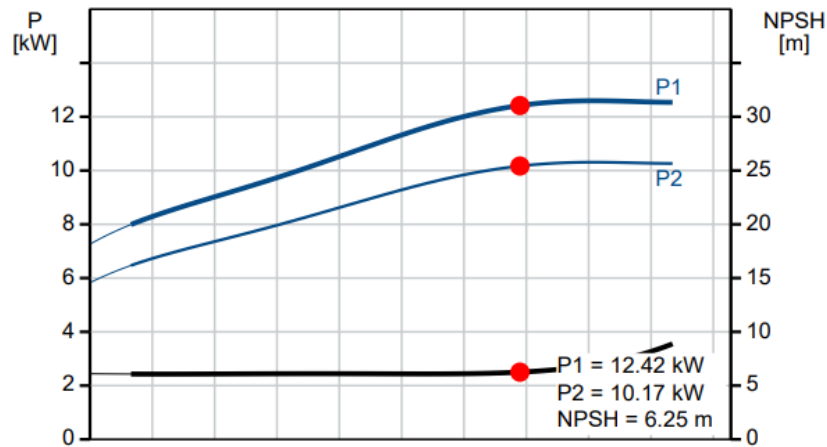


FIGURA 22 - CURVA DE POTÊNCIA DA BOMBA SP30-7

Fonte: (GRUNDFOS, 2018)

O filtro de areia deve ser retrolavado com água já tratada pelo filtro de areia, ausente de sólidos suspensos. Estas características de água são atingidas pelo concentrado da osmose reversa, já que o concentrado já foi tratado pelo filtro de areia e os pré-filtros. Considerando esta origem de água para retrolavar o filtro é possível economizar água tratada pelo sistema de osmose reversa.

A vazão de retrolavagem deve ser de 2 a 3 vezes a vazão de operação do filtro com tempo de 15 a 20 minutos. (RUBIM, 2012).

Para atingir a vazão necessária para retrolavagem iremos considerar uma bomba com vazão de 75m³/h modelo CR64-1 da Grundfos. A figura 23 mostra a curva de vazão por pressão da bomba CR64-1 e a figura 24 mostra a curva de potência da bomba CR64-1.

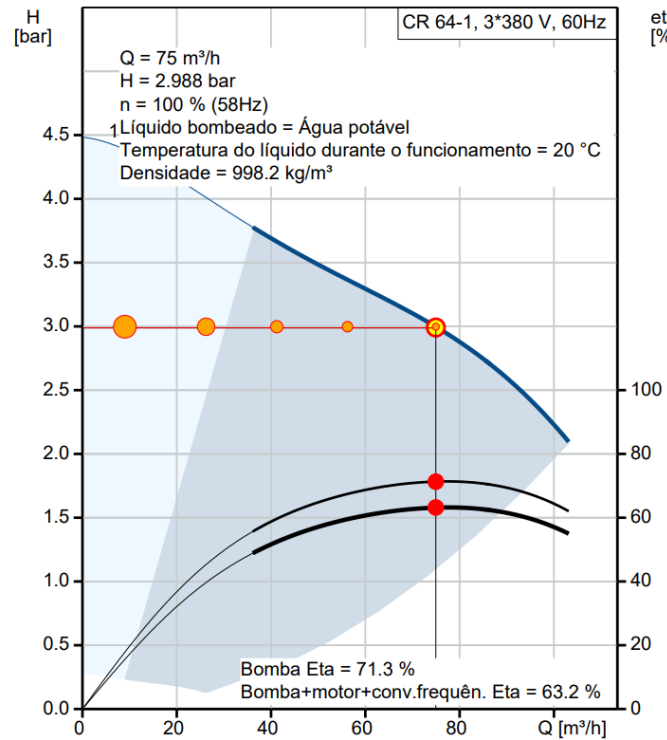


FIGURA 23 - CURVA DE PRESSÃO E VAZÃO BOMBA CR64-1

Fonte: (GRUNDFOS, 2018)

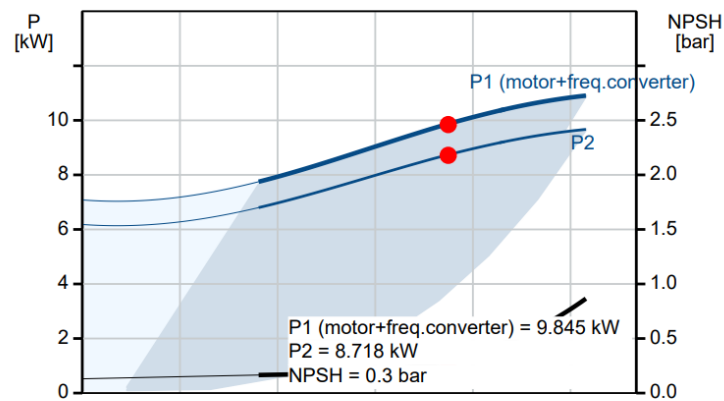


FIGURA 24 - CURVA DE POTÊNCIA DA BOMBA CR64-1

Fonte: (GRUNDFOS, 2018)

Apesar de ser uma bomba com alto consumo energético ela não irá operar ao mesmo tempo da bomba de pressurização da osmose reversa. Isto resultará em um menor número de painéis solares já que o consumo elétrico não será somado.

Para o pré-filtro de 5 micra será considerado um elemento filtrante “*big blue*” de Ø 163mm por 590mm. Individualmente este filtro consegue chegar a vazão de até 6m³/h, então serão utilizados 5 filtros em paralelo para atender a demanda de vazão de entrada do sistema de 30m³/h. (FILLTRUS, 2018)

- Matéria orgânica

A análise de água do anexo 3 não apresenta nenhum dado referente a matéria orgânica, sendo assim não será considerado nenhum tipo de pré-tratamento específico para este componente. A matéria orgânica que porventura estiver presente na água será retida nas membranas de osmose reversa o que pode aumentar a frequência de limpezas químicas.

- Incrustação inorgânica

Conforme calculado no software ROSA existe a possibilidade de incrustação inorgânica. Para reduzir o potencial de incrustação de sais na superfície da membrana é recomendável o uso de um antiincrustante por exemplo *Flocon 135* da empresa *BWA Water Additives*. A quantidade do antiincrustante a ser dosado será de 0,43kg/dia ou 180g/h, conforme cálculo presente no apêndice 5.

Para dosar o antiincrustante foi considerada a bomba BT4b 1000 do fabricante ProMinent que tem o consumo energético de 6w. (PROMINENT, 2018).

A figura 25 ilustra o modelo de bomba a ser utilizado para dosagem de antiincrustante.



FIGURA 25 - BOMBA DE DOSAGEM DE ANTIINCRUSTRANTE BETA® B

Fonte: (PROMINENT, 2018)

3.2.3 Sistema pós-filtragem

A água tratada armazenada corre o risco de crescimento biológico enquanto está armazenada no reservatório até seu consumo final. Para inibir o crescimento de bactérias e garantir a esterilidade da água é necessário dosar cloro na água para garantir a quantidade mínima conforme solicita a portaria 2914/2011.

No anexo 4 é possível verificar o fluxograma do sistema com todos estes componentes.

3.3 SISTEMA FOTOVOLTÁICO

3.3.1 Localização e dados solarimétricos

A cidade de Santana do Matos fica no interior do estado do Rio Grande do Norte e possui as coordenadas geográficas de Latitude: 05° 57' 27" S e Longitude: 36° 39' 20" O. Através das informações de localização da cidade é possível analisar o potencial de irradiação solar da região utilizando o site do CRESESB. O ponto de coleta de dados solares mais próximo fica a 4,9km da cidade de Santana do Matos. É possível

verificar os dados solarimétricos na figura 26 que serão utilizados para desenvolvimento do estudo dos painéis fotovoltaicos. A inclinação dos painéis fotovoltaicos β escolhidas para o estudo foi de 6° , contudo faz-se a necessidade de limpeza a inclinação a ser usada será de 10° o que não altera significativamente a irradiação solar.

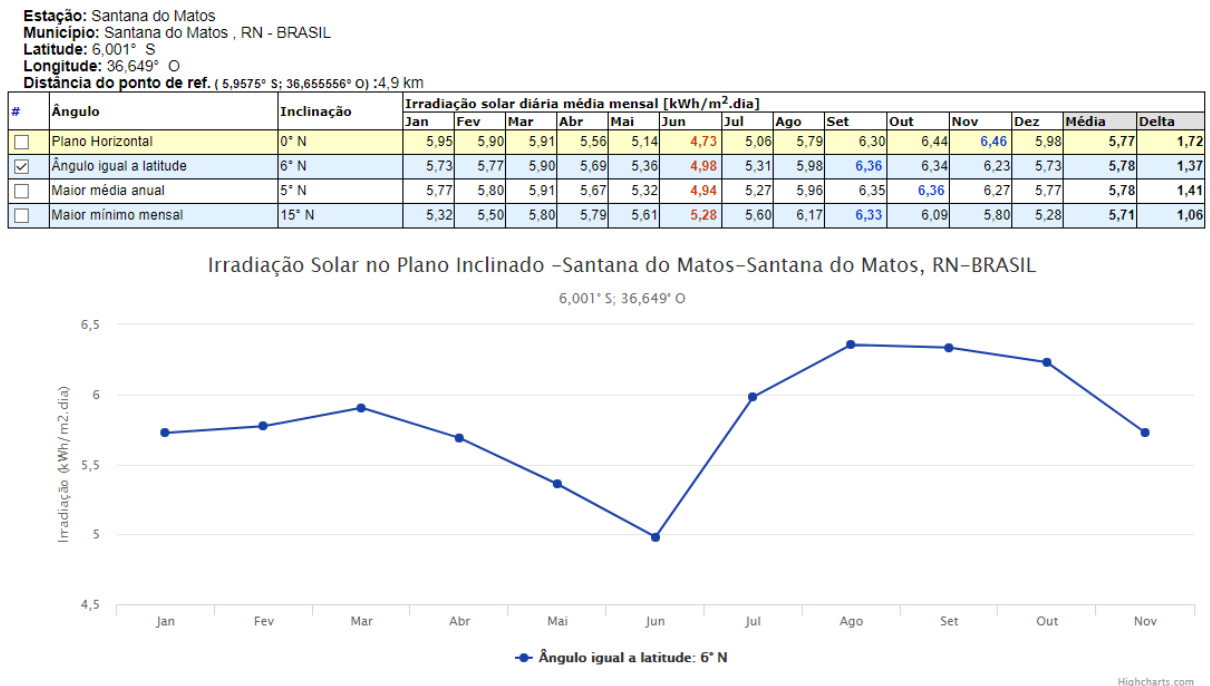


FIGURA 26 - IRRADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA MÉDIA

Fonte: (CRESESB, 2018)

Devido a latitude do local de aproximadamente -6° será necessário interpolar os dados que estão na figura 12 para verificarmos o valor da irradiação solar integrada média diária mensal extraterrestre sobre a superfície horizontal ($\bar{H}_0$) correspondente ao local do estudo. Interpolando os valores temos os resultados da tabela 7.

TABELA 7 - IRRADIAÇÃO SOLAR INTEGRADA MÉDIA DIÁRIA MENSAL EXTRATERRESTRE PARA LATITUDE -6"(MJ/m²/dia)

Fonte: Próprio autor

Φ	Jan	Fev	mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
-5,0	38	38,5	37,9	35,8	33	31,4	32,1	34,4	36,9	38	37,9	37,6
-6,0	38,3	38,7	37,9	35,6	32,6	31,0	31,7	34,1	36,8	38,1	38,2	37,9
-10,0	39,5	39,3	37,7	34,5	31,1	29,2	29,9	32,9	36,3	38,5	39,3	39,4

Para calcular a declinação solar e o restante dos dados solarimétricos é necessário considerar um dia do mês para fazer a média mensal. Os dias que serão utilizados como base para os parâmetros calcular mês a mês são descritos conforme tabela 8.

TABELA 8 - DIA MÉDIO DO MÊS

Fonte: (DUFFIE e BECKMAN, 2013)

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Dia	17	16	16	15	15	11	17	16	15	15	14	16

Através dos dados da figura 26, da tabela 7, tabela 8 e dados que estão disponíveis da localização da cidade onde será realizado o estudo é possível calcular os parâmetros de irradiação solar média para cada mês do ano descritos na tabela 9.

TABELA 9 - DADOS SOLARIMÉTRICOS MENSAIS LATITUDE -6°

Fonte: Próprio Autor

Mês	δ (°)	ω_s (°)	N	$\bar{H}_0$ (kWh/m ² .dia)	$\bar{H}$ (kWh/m ² .dia)	$\bar{K}_T$	$\bar{H}_d/H$	$\bar{H}_d$ (kWh/m ² .dia)
Jan	- 20,92	92,29	12,30	10,64	5,99	0,56	0,39	2,31
Fev	- 12,95	91,38	12,18	10,74	5,97	0,56	0,39	2,31
mar	- 2,42	90,25	12,03	10,52	6,01	0,57	0,37	2,25
Abr	9,41	89,01	11,87	9,88	5,65	0,57	0,37	2,09
Mai	18,79	87,96	11,73	9,07	5,21	0,57	0,37	1,90
Jun	23,09	87,45	11,66	8,61	4,74	0,55	0,38	1,79
Jul	21,18	87,68	11,69	8,80	5,07	0,58	0,36	1,84
Ago	13,45	88,57	11,81	9,48	5,77	0,61	0,35	2,00
Set	2,22	89,77	11,97	10,22	6,27	0,61	0,35	2,18
Out	- 9,60	91,01	12,13	10,58	6,49	0,61	0,35	2,28
Nov	- 18,91	92,05	12,27	10,60	6,48	0,61	0,36	2,30
Dez	- 23,05	92,55	12,34	10,54	6,07	0,58	0,38	2,29

3.3.2 Consumo elétrico do sistema

Apesar do sistema possuir diversas bombas elas não estarão operando simultaneamente. A tabela 7 resume quais seriam as etapas operacionais do sistema, quais bombas estariam sendo utilizadas e o consumo energético esperado em cada etapa.

TABELA 10 - BOMBAS EM OPERAÇÃO X ETAPA DE OPERAÇÃO

Fonte: Próprio Autor

Etapa de operação	Bomba de poço	Bomba de pressurização Osmose reversa	Bomba de retro lavagem Filtro de areia	Bomba de limpeza química	Consumo energético kW
Filtragem	x	x			20,95
Retro lavagem filtro de areia			x		9,84
Limpeza química do sistema				x	4,51

Devido a variação de irradiação solar ao longo dos meses e, conseqüentemente, a variação da quantidade de água tratada produzida pelo sistema, será adotado como premissa que o sistema deverá operar durante o mês de junho, que é o mês com pior incidência de irradiação solar, por 12 horas em um dia. Para os outros meses o sistema deverá ter um aumento no total de água tratada já que a irradiação solar é superior. A tabela 11 resume a operação do sistema de tratamento de água.

TABELA 11 - CONSUMO ENERGÉTICO POR HORA

Fonte: Próprio Autor

Hora	Operação	Consumo Horário kWh
1:00	Filtragem	20,95
2:00	Filtragem	20,95
3:00	Filtragem	20,95
4:00	Filtragem	20,95
5:00	Filtragem	20,95
6:00	Filtragem	20,95
7:00	Filtragem 45 min Retrolavagem 15 min	18,17
8:00	Filtragem	20,95
9:00	Filtragem	20,95
10:00	Filtragem	20,95
11:00	Filtragem	20,95
12:00	Filtragem	20,95

3.3.3 Pannel solar fotovoltaico

O pannel solar fotovoltaico escolhido para receber a irradiação solar e gerar energia elétrica foi o modelo CS6X-330 da empresa Canadian Solar. Na tabela 12 temos as especificações técnicas do pannel escolhido.

TABELA 12 - CARACTERISTICAS TÉCNICAS PAINEL FOTOVOLTAÍCO CS6X-330

Fonte: (CANADIAN SOLAR, 2018)

Potência máxima nominal (Pmp)	330	W
Voltagem de máxima potência (Vmp)	37,2	V
Corrente de máxima potência (Imp)	8,88	A
Voltagem de circuito aberto (Voc)	45,6	V
Corrente de curto circuito (Isc)	9,45	A
Eficiência do módulo	16,90%	
Comprimento	1968	mm
Largura	992	mm
Coeficiente de temperatura (Pmax)	-0,40%	%/°C
Coeficiente de temperatura (Voc)	-0,31	%/°C
Coeficiente de temperatura (Isc)	0,05	%/°C
Temperatura nominal de operação (NMOT)	43 ± 3	°C

3.3.4 Dimensionamento de campo de painéis fotovoltaicos

Os cálculos foram realizados utilizando as equações presentes nos capítulos 2.3.5.1 e 2.3.6. As características de radiação solar média no plano inclinado, potência gerada, temperatura de célula foram calculadas desde o início de incidência solar no dia até o esgotamento da energia presente nas baterias e desligamento do sistema de tratamento de água.

A tabela 13 informa o resultado obtido na projeção onde a coluna G_t representa a radiação solar média horária.

TABELA 13 - IRRADIAÇÃO SOLAR SOBRE PLANO INCLINADO B - MÊS DE JUNHO

Fonte: Próprio Autor

HS	ω ($^{\circ}$)	r_t	r_d	I_d (kWh/m 2)	I (kWh/m 2)	I_b (kWh/m 2)	R_b	I_t (kWh/m 2)	G_t (W/m 2)
5:30	- 97,5	- 0,01	- 0,02				0,58		
6:30	- 82,5	0,01	0,01	0,02	0,04	0,02	1,87	0,06	55,9
7:30	- 67,5	0,04	0,05	0,09	0,18	0,10	1,22	0,20	203,6
8:30	- 52,5	0,07	0,08	0,14	0,34	0,20	1,14	0,37	368,1
9:30	- 37,5	0,10	0,11	0,19	0,49	0,31	1,10	0,52	524,7
10:30	- 22,5	0,13	0,12	0,22	0,61	0,39	1,09	0,65	647,6
11:30	- 7,5	0,14	0,13	0,24	0,68	0,44	1,08	0,72	715,2
12:00	-	0,15	0,13	0,24	0,69	0,45	1,08	0,72	723,9
13:30	22,5	0,13	0,12	0,22	0,61	0,39	1,09	0,65	647,6
14:30	37,5	0,10	0,11	0,19	0,49	0,31	1,10	0,52	524,7
15:30	52,5	0,07	0,08	0,14	0,34	0,20	1,14	0,37	368,1
16:30	67,5	0,04	0,05	0,09	0,18	0,10	1,22	0,20	203,6
17:30	82,5	0,01	0,01	0,02	0,04	0,02	1,87	0,06	55,9
18:30	97,5	- 0,01	- 0,02				0,58		
19:30	112,5	- 0,03	- 0,06				0,83		
20:30	127,5	- 0,03	- 0,09				0,89		

Com os dados da irradiação solar sobre o plano inclinado, juntamente com as informações de temperatura horária e dados técnicos do painel fotovoltaicos é possível analisar a geração de energia elétrica hora a hora.

TABELA 14 - POTÊNCIA ELÉTRICA - MÊS DE JUNHO

Fonte: Próprio Autor

HS	G_t (W/m ²)	T_a (°C)	T_c (°C)	P_{fv} (W)
5:30		22,0	22,0	-
6:30	55,9	21,6	23,0	18,6
7:30	203,6	22,7	28,0	66,4
8:30	368,1	23,8	33,3	117,4
9:30	524,7	24,9	38,4	163,8
10:30	647,6	25,9	42,7	198,6
11:30	715,2	27,0	45,5	216,6
12:00	723,9	28,1	46,8	218,0
13:30	647,6	29,2	46,0	195,8
14:30	524,7	28,8	42,3	161,1
15:30	368,1	28,3	37,8	115,2
16:30	203,6	27,9	33,1	65,0
17:30	55,9	27,4	28,9	18,1
18:30		27,0	27,0	-
19:30		26,5	26,5	-
20:30		26,1	26,1	-

As colunas da tabela 14 representam:

- G_t : radiação solar média
- T_a : temperatura ambiente
- T_c : temperatura de célula
- P_{fv} : potência de um painel fotovoltaico

Ao somar todas as linhas da coluna P_{fv} da tabela 14 é possível verificar que a potência gerada por um painel fotovoltaico ao longo do dia médio em junho é 1.554,8 Wdia. O consumo total do sistema de tratamento de água é de 248,6kWdia. É possível então determinar a quantidade de painéis necessários para energia o sistema durante sua operação diária utilizando a equação 34:

$$n = \frac{E_c}{E_{gFV}} \quad (34)$$

Onde:

- N é o número de painéis fotovoltaicos
- E_c é a energia consumida pelo sistema de tratamento de água em um dia (Wdia)
- E_{gFV} é a energia gerada por um painel fotovoltaico em um dia (Wdia)

Temos então que:

$$n = \frac{248.600}{1.555,1}$$

$$n \cong 160 \text{ painéis fotovoltaicos}$$

Com a quantidade de painel fotovoltaicos é possível analisar a energia total gerada pelo campo de painéis e a energia armazenada nas baterias.

TABELA 15 - POTÊNCIA ELÉTRICA DO CAMPO DE PAINEIS - MÊS DE JUNHO

Fonte: Próprio Autor

HS	G _t (W/m ²)	T _a (°C)	T _c (°C)	P _{fv} (W)	P _m (kW)	E _c (kWh)	E _a (kWh)
5:30		22,0	22,0	-	-		-
6:30	55,9	21,6	23,0	18,6	3,0		3,0
7:30	203,6	22,7	28,0	66,4	10,6		13,6
8:30	368,1	23,8	33,3	117,4	18,8	21,0	11,4
9:30	524,7	24,9	38,4	163,8	26,2	21,0	16,7
10:30	647,6	25,9	42,7	198,6	31,8	21,0	27,5
11:30	715,2	27,0	45,5	216,6	34,7	21,0	41,2
12:00	723,9	28,1	46,8	218,0	34,9	21,0	55,2
13:30	647,6	29,2	46,0	195,8	31,3	21,0	65,5
14:30	524,7	28,8	42,3	161,1	25,8	18,2	73,2
15:30	368,1	28,3	37,8	115,2	18,4	21,0	70,6
16:30	203,6	27,9	33,1	65,0	10,4	21,0	60,1
17:30	55,9	27,4	28,9	18,1	2,9	21,0	42,0
18:30		27,0	27,0	-	-	21,0	21,1
19:30		26,5	26,5	-	-	21,0	0,1

As colunas da tabela 15 representam:

- G_t: radiação solar média
- T_a: temperatura ambiente
- T_c: temperatura de célula
- P_{fv}: potência de um painel fotovoltaico
- P_m: potência de campo de painéis fotovoltaicos
- E_c: energia consumida
- E_a: energia armazenada

As projeções feitas para os meses de janeiro a dezembro podem ser verificadas nos apêndices de 6 a 16.

3.3.5 Campo fotovoltaico

Após a definição da quantidade de painéis que serão necessários para gerar a energia do sistema, é necessário definir o tipo de arranjo será feito e quais os componentes que irão conectar os strings de painéis.

3.3.6 Controlador de carga

Sistemas de painéis fotovoltaicos off-grid que utilizam baterias devem utilizar um controlador de carga. O controlador atua controlando a carga das baterias a fim de evitar a sua descarga excessiva ou evitar sobrecarga.

O controlador que irá realizar a conexão dos painéis fotovoltaicos com os inversores neste projeto será o 240V50A da empresa *Deming Power*. É possível verificar as características técnicas do controlador na tabela 16.

TABELA 16 - CONTROLADOR 240V50A

Fonte: (DEMING POWER, 2018)

Voltagem da bateria	240	V
Voltagem máxima de circuito aberto	500	V
Corrente máxima	50	A
Potência máxima	12000	W
Faixa de operação recomendada	336 - 360	V

3.3.7 Inversor de frequência

O inversor de frequência é responsável por transformar a energia de corrente contínua em corrente alternada, conectando assim a necessidade de energia elétrica do sistema de tratamento de água. O inversor escolhido foi o Fronius Symo 12.5-3 cujas características mais relevantes podem ser conferidas na tabela 17.

TABELA 17 - FRONIUS SYMO 15.0-3

Fonte: (FRONIUS, 2018)

Corrente máxima de entrada	33,0	A
Corrente máxima de curto circuito	49,5	A
Faixa de tensão de entrada	200 – 1000	V
Faixa de tensão MPP utilizável	200 – 800	V
Potência máxima do gerador fotovoltaico	22,5	kW
Potência nominal de saída CA	15,5	kW

3.3.8 Arranjo fotovoltaico

O arranjo fotovoltaico consiste em como será a distribuição dos painéis fotovoltaicos. No arranjo é determinado quantos painéis existem em um string de painéis, quantos strings cada controlador de carga irá controlar e a distribuição de inversores na área coletora.

Para que seja possível realizar este dimensionamento é necessário fazer uma análise da maior voltagem de circuito aberto, maior corrente de curto circuito e voltagem e corrente de máxima potência..

3.3.8.1 Voltagem de circuito aberto

Para analisar a maior voltagem de circuito aberto dentro do arranjo é necessário analisar sua equação 36.

$$V_{OC} = V_{OC}^0 * [1 + \gamma_{oc}(T_c - T_c^0)] \quad (35)$$

Onde:

- V_{oc} : Voltagem de circuito aberto na temperatura de célula T_c
- V_{oc}^0 : Voltagem de circuito aberto em teste STC
- γ_{oc} : coeficiente de voltagem para temperatura
- T_c : temperatura de célula
- T_c^0 : temperatura de célula em teste STC

Com base nessa equação é possível verificar que a maior voltagem de circuito aberto será no momento em que a temperatura de célula for a menor possível, já que o coeficiente de temperatura para voltagem é negativo. A menor temperatura possível de célula será no dia mais frio do ano. Analisando a temperatura média da região é possível verificar que a temperatura mínima é 20,8°C. (CLIMATE-DATA, 2018). Sendo assim temos:

$$V_{oc} = V_{oc}^0 * [1 + \gamma_{oc}(T_c - T_c^0)]$$

$$V_{oc} = 45,6 * [1 - 0,0031(20,8 - 25)]$$

$$V_{oc} = 46,2V$$

3.3.8.2 Corrente de curto circuito

Para analisar a maior corrente curto circuito dentro do arranjo é necessário analisar sua equação 37.

$$I_{sc} = I_{sc}^0 * [1 + \gamma_{sc}(T_c - T_c^0)] \quad (36)$$

Onde:

- I_{sc} : corrente de curto circuito na temperatura de célula T_c
- I_{sc}^0 : Voltagem de circuito aberto em teste STC
- γ_{sc} : coeficiente de correte para temperatura
- T_c : temperatura de célula
- T_c^0 : temperatura de célula em teste STC

Com base nessa equação é possível verificar que a maior corrente de curto circuito será no momento em que a temperatura de célula for a maior possível, já que o coeficiente de temperatura para corrente é positivo. Analisando as temperaturas de

célula nos cálculos de incidência solar é possível verificar que a maior temperatura de célula é de 53,5°C. Sendo assim temos:

$$I_{sc} = I_{sc}^0 * [1 + \gamma_{sc}(T_c - T_c^0)]$$

$$I_{sc} = 9,54 * [1 + 0,0005(53,5 - 25)]$$

$$I_{sc} = 9,68A$$

3.3.8.3 Voltagem e corrente de máxima potência

A voltagem de potência máxima é calculada no momento em que o painel fotovoltaico está com a maior potência elétrica. Analisando os resultados obtidos com o cálculo mensal hora a hora de produção elétrica é possível verificar que a maior temperatura de célula é de 53,5°C e a maior potência é de 261,1W. Sendo assim a tensão mínima na potência máxima é fornecida pela equação 38, para tanto usaremos que γ na potência é igual a γ de circuito aberto.

$$V_{mp} = V_{mp}^0 * [1 + \gamma_{oc}(T_c - T_c^0)] \quad (37)$$

$$V_{mp} = 37,2 * [1 - 0,0031(53,5 - 25)]$$

$$V_{mp} = 33,91V$$

$$P_{mp} = I_{mp} * V_{mp}$$

$$I_{mp} = \frac{261,1}{33,9}$$

$$I_{mp} = 7,70A$$

3.3.8.4 Strings fotovoltaicos

Os strings devem ser dimensionados de modo que os pontos de operação do sistema fotovoltaico estejam dentro de limites operacionais de seus componentes. O limite máximo de voltagem de circuito aberto para o controlador de carga da bateria é de 500V e de 1000V, sendo assim podemos resumir a quantidade de painéis dentro de um string com a seguinte expressão:

$$V_{ocS} < n_{fv} * V_{ocP}$$

$$500 < n_{fv} * 46,2$$

$$n_{fv} < 10,82$$

$$n_{fv} = 10$$

Onde:

- V_{ocS} : voltagem de circuito aberto máximo no string (V)
- n_{fv} : número de painéis fotovoltaicos no string
- V_{oc} : voltagem de circuito aberto para um painel fotovoltaico(V)

A corrente de curto circuito de um string de 10 painéis é a mesma que a corrente de curto circuito de um painel, porém, quando conectamos o strings em paralelo as correntes são somadas. Analisando os componentes do sistema fotovoltaico temos que a corrente máxima de curto circuito é 50A para o controlador de carga e 49,5A para os inversores. Com estes dados é possível resumir a quantidade de strings fotovoltaicos conectados no inversor como

$$I_{scI} < n_s * I_{scS}$$

$$49,5 < n_s * 9,68$$

$$n_s < 5,11$$

Onde:

- I_{sc1} : corrente de curto circuito máxima no inversor (A)
- n_s : número de strings
- I_{sc} : corrente de curto circuito em um string (A)

Foi considerando o I_{sc1} como corrente de curto circuito máxima no inversor pois ele era menor que a do controlador de carga.

O campo fotovoltaico possui 160 painéis que serão divididos em 16 strings de 10 painéis. Para facilitar a distribuição de controladores de carga e inversores será considerado que cada controlador estará conectado a 4 conjunto de strings, deste modo teremos 4 controladores de carga no total. Os inversores são conectados a um controlador de carga. A figura 27 mostra de maneira resumida a conexão elétrica do sistema.

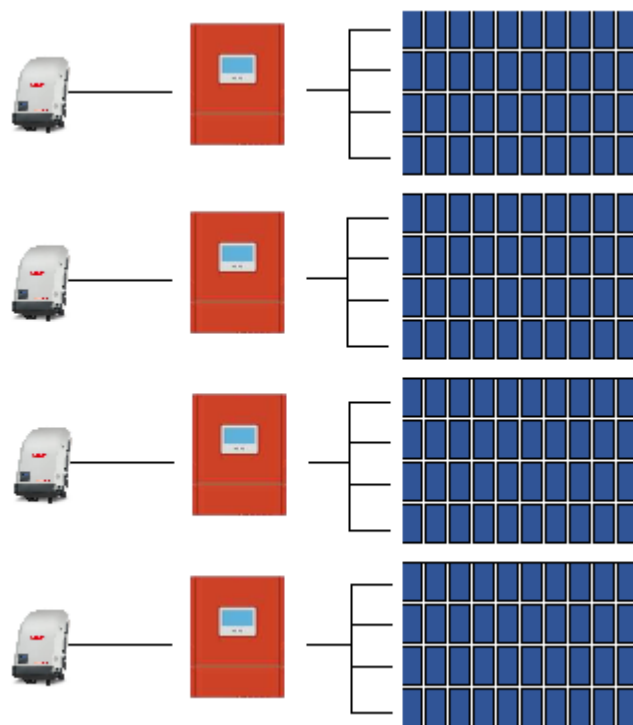


FIGURA 27 - ARRANJO FOTOVOLTÁTICO

Fonte: Próprio autor

A potência e voltagem de máxima potência também devem ser analisadas para verificar se ambas estão dentro dos parâmetros operacionais do sistema. Para a voltagem de circuito aberto podemos verificar utilizando a seguinte equação 39.

$$V_{mp} = n_{fv} * V_{mpP} \quad (38)$$

$$V_{mp} = 10 * 33,9$$

$$V_{mp} = 339V$$

Por este valor de voltagem de máxima potência é possível verificar que os painéis operam dentro do limite do controlador de carga de 336 – 360V e dentro do limite do inversor de 200 – 800V. Para a potência máxima gerada por um conjunto de 4 strings fotovoltaicos podemos considerar a potência gerada por um painel, a quantidade de painéis em um string e a quantidade de strings conectados em paralelo. Desta forma temos:

$$P_{mp} = n_{fv} * n_s * P_{mpP} \quad (39)$$

$$P_{mp} = 10 * 4 * 261,1$$

$$P_{mp} = 10.444 W$$

Pelo resultado obtido é possível verificar que a potência máxima está abaixo da potência máxima do controlador de carga de 12kW e abaixo da potência máxima do inversor de 20kW

3.3.9 Baterias

As baterias deverão ser capazes de armazenar toda a energia em excesso que os painéis fotovoltaicos forem capazes de produzir, isto garantirá a operação do sistema de tratamento de água.

Analisando os resultados obtidos com o cálculo mensal hora a hora de produção elétrica é possível verificar que a maior energia armazenada, em um dia, nas baterias é de 125,2kwh no mês de setembro. Para aumentar a vida útil das baterias será considerada uma profundidade de descarga de 20%. Temos assim então:

$$E_{bateria} = \frac{E_{consumo}}{P_d} \quad (40)$$

$$E_{bateria} = \frac{125,2}{0,2}$$

$$E_{bateria} = 626 \text{ kwh}$$

A voltagem do controlador de carga do sistema é de 240V. As baterias devem ser ligadas em série para fornecer a voltagem capaz de operar. Tendo a voltagem de armazenamento é possível calcular a quantidade em ampere-hora que as baterias deverão possuir.

$$E_{bateria} = V_a * C_a \quad (42)$$

$$C_a = 2608Ah$$

Onde:

- V_a : voltagem de armazenagem (V)
- C_a : carga elétrica (Ah)

O sistema será composto de 4 controladores de carga que possuem a voltagem de armazenamento 240V. Com está informação é possível chegar a conclusão que será

necessário utilizar 20 baterias de 12V conectadas em série para atingir a voltagem do controlador de carga, o que totaliza um total de 80 baterias. Sendo assim temos a capacidade de armazenamento individual de bateria definida como:

$$C_{bateria} = \frac{C_a}{n} \quad (41)$$

$$C_{bateria} = \frac{2608}{80}$$

$$C_{bateria} = 32,6 \text{ Ah}$$

Onde:

- $C_{bateria}$: carga elétrica por bateria (Ah)
- C_a : carga elétrica (Ah)
- n : número de baterias

Tendo as características da bateria é possível determinar o seu modelo. Para o projeto será utilizada o modelo *DF700* da empresa Heliar que possui uma capacidade de armazenamento de carga de 50Ah. (NEO SOLAR, 2018).

3.3.10 Área total do sistema

A área total ocupada pelo sistema depende do tamanho dos painéis e da inclinação a qual eles estarão submetidos. Deve ser considerando um espaçamento mínimo afim de evitar o sombreamento de painéis e consequente perda de energia. Esta distância mínima é calculada para o dia 21/06 ao meio dia.

A distribuição dos painéis fotovoltaicos pela área será realizada em conjuntos agrupados pelos controladores e de carga e inversores. Serão dois campos com 80 painéis, 10 painéis por strings, 4 controladores e 4 inversores. A distribuição dos campos pode ser visualizada na figura 28.

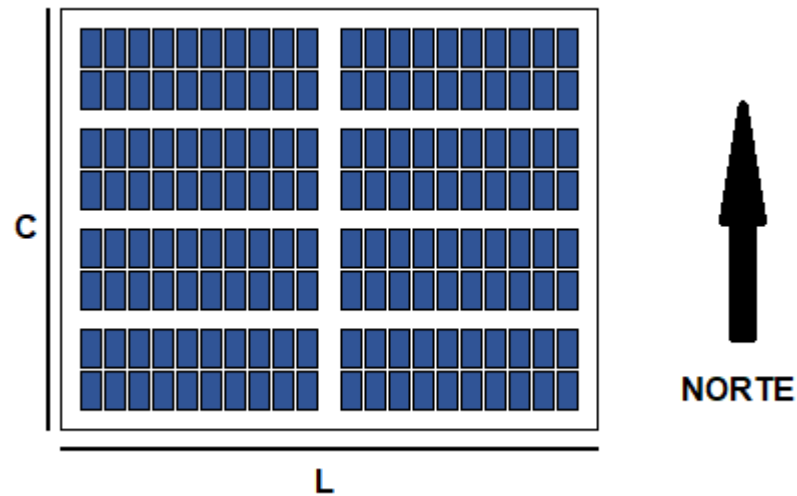


FIGURA 28 - DISTRIBUIÇÃO DE PAINEIS FOTOVOLTÁICOS

Fonte: Próprio autor

No dia 21/06 ao meio dia temos as seguintes condições solares para o cálculo da distância mínima entre painéis e as seguintes condições para construção do campo de painéis.

- Θ_z : $30,42^\circ$
- Distância mínima entre painéis para evitar sombreamento: 0,2m
- Comprimento do painel: 1,968m
- Largura do painel: 0,992m
- Largura de corredor de acesso centrais e laterais: 1,0m
- Espaçamento dos painéis na coordenada L: 0,1m

Utilizando os dados expostos acima temos uma área mínima para instalação dos painéis de $562,5\text{m}^2$ sendo 22,5 m de comprimento por 25m de largura.

3.4 INVESTIMENTOS

Existem dois tipos de investimentos que terão que ser realizados para a construção deste projeto. O primeiro sendo os gastos de implementação referente a compra de equipamentos, construção e instalação. O segundo sendo referente a operação e manutenção do sistema fotovoltaico e sistema de tratamento de água.

- Custos de implementação

Os investimentos de capital que deverão ser realizados para este projeto estão resumidos na tabela 18:

TABELA 18 - CUSTOS DE IMPLEMENTAÇÃO

Fonte: Próprio autor

Sistema de osmose reversa	1	250.000,00	250.000,00
Painel fotovoltaico	160	720,00	115.200,00
Inversor	4	22.790,00	91.160,00
Controlador de carga	4	1.500,00	6.000,00
Bateria	80	400,00	32.000,00
Terreno 600m ²	1	10.000,00	10.000,00
Cabeamento	1	30.000,00	30.000,00
Estrutura	1	30.000,00	30.000,00
Sistema fotovoltaico	1	314.360,00	314.360,00
Custo de implementação			564.360,00

- Custos de operação

Os custos de operação são referentes aos custos inerentes a operação do sistema de tratamento de água e sistema fotovoltaico. Eles estão resumidos na tabela 19.

TABELA 19 - CUSTOS DE OPERAÇÃO

Fonte: Próprio autor

Custos de operação	Quantidade	Valor unitário	Periodicidade	Valor total anual
Membranas	15,00	3.000,00	a cada 4 anos	11.250,00
Antiincrustante	78,48	30,00	anual	2.354,25
Baterias	60,00	660,00	a cada 4 anos	9.900,00
Filtros	6,00	100,00	a cada 3 meses	2.400,00
Químicos	1,00	2.000,00	a cada 3 meses	8.000,00
Operador	1,00	2.500,00	mensal	30.000,00
Troca de bombas	1,00	83.250,00	a cada 10 anos	8.325,00
Troca de vedações	1,00	25.000,00	a cada 5 anos	5.000,00
Custo anual				77.229,25

3.5 VIABILIDADE ECONÔMICA

A análise de viabilidade econômica compara a viabilidade econômica do sistema com a distribuição de água da cidade realizada por caminhões pipa. Os caminhões percorrem aproximadamente 200 km entre a fonte de abastecimento, a cidade de Natal – RN, até chegar na cidade de Santana do Matos. Cada caminhão consegue carregar 15 metros cúbicos de água e possui um valor de R\$800,00 com combustível e água inclusos.

Para analisar o fluxo de caixa e retorno de investimento para este projeto foram feitas as seguintes considerações:

- Sistema deve operar por 20 anos produzindo água e atendendo a região
- O projeto se destina ao abastecimento de água de uma região com histórico de seca e substituindo uma fonte de abastecimento de água por combustível fóssil. Por este motivo foi considerando uma taxa de desconto anual de 7%.
- O terreno a ser adquirido é para construção do campo de painéis fotovoltaicos e construção do sistema de osmose reversa.
- A energia armazenada nas baterias no final de um dia, após o esgotamento da energia suficiente para operação do sistema, foi considerada como zero.

- O sistema não irá operar por 3 dias durante os meses de janeiro, abril, julho e outubro devido as limpezas químicas das membranas.
- O sistema irá produzir 25 metros cúbicos de água tratada em uma hora, porém quando é feita a limpeza no filtro de areia, durante 15 minutos, a produção horária do sistema cai para 18,75m³. O filtro de areia irá retrolavar 1 vez ao dia.
- A quantidade de água produzida mensalmente é conforme tabela 18. As informações contidas na tabela 20 foram compiladas analisando as tabelas de irradiação mensal e verificando quantas horas as baterias e painéis fotovoltaicos produziram energia suficiente para acionar o sistema de tratamento de água.

TABELA 20 - PRODUÇÃO MENSAL DO SISTEMA EM MÉTROS CÚBICOS

Fonte: Próprio autor

Mês	Horas de produção (h)	Produção diária média (m ³ /dia)	Dias de operação no mês (dias/mês)	Produção mensal (m ³ /mês)
Jan	13	318,75	28	8.925,00
Fev	13	318,75	28	8.925,00
Mar	13	318,75	31	9.881,25
Abr	13	318,75	27	8.606,25
Mai	13	318,75	31	9.881,25
Jun	12	293,75	30	8.812,50
Jul	12	293,75	28	8.225,00
Ago	14	343,75	31	10.656,25
Set	14	343,75	30	10.312,50
Out	14	343,75	28	9.625,00
Nov	14	343,75	30	10.312,50
Dez	13	318,75	31	9.881,25

Analisando o total de água produzido pelo sistema temos um total de 114 mil metros cúbicos anuais. Para a cidade ser abastecida com esta quantidade de água durante o ano por caminhão pipa seriam utilizados aproximadamente 7603 caminhões pipa e gasto um valor de R\$6.082.400,00 todo ano. Retirando os custos anuais de operação do sistema teremos uma economia de R\$6.005.104,08. Com o valor da economia

anual e o custo de implantação do sistema é possível traçar o gráfico da figura 29 que demonstra o tempo de retorno o fluxo de caixa acumulado do projeto ao longo de 20 anos considerando uma taxa de 7% ao ano.

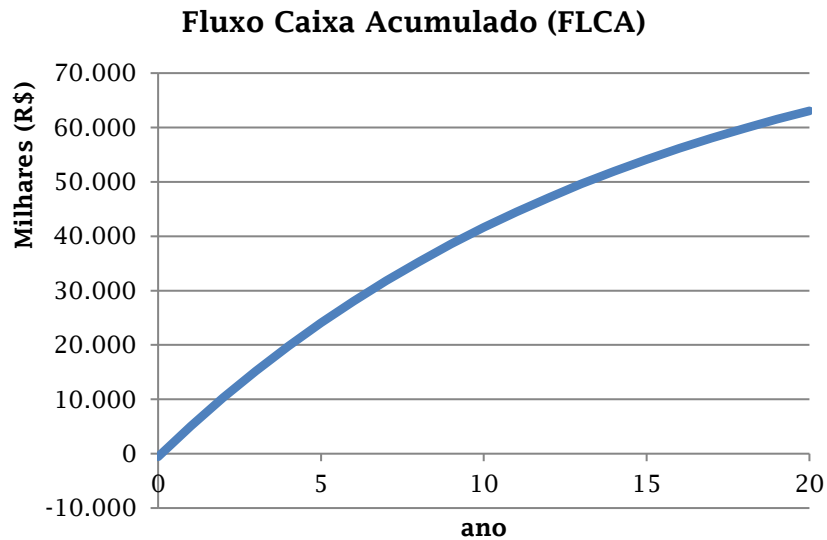


FIGURA 29 - FLUXO DE CAIXA ACUMULADO

Fonte: Próprio autor

A economia média gerada por mês de operação do sistema é de aproximadamente R\$500.000,00. Com este valor de economia é possível concluir que o sistema com custo de R\$565.800,00 teria seu retorno financeiro pouco mais de 1 mês de operação.

4 CONCLUSÃO

O semiárido brasileiro consiste de povoados e cidades que tem difícil acesso não somente a água, mas também a energia elétrica. A solução para tratamento de água salobra proveniente de poços já é existente, porém requer a utilização de energia elétrica que nem sempre está disponível nos pontos onde a água é necessária.

A cidade consome cerca de 1328 m³ por dia dos quais 300m³ em média podem ser fornecidos pelo sistema de tratamento de água. Sendo assim é possível atender parcialmente as necessidades da cidade em períodos em que haja escasses de água na região, substituindo o abastecimento por caminhão pipa. Caso sejam utilizados mais sistemas é possível atender a demanda da cidade utilizando somente este tipo de sistema.

Conforme foi possível demonstrar o sistema combinado de tratamento de água por osmose reversa com a solução de captação de energia solar fotovoltaica é uma alternativa tecnicamente e financeiramente viável ao abastecimento de água da cidade. O retorno financeiro de investimento ocorreu em aproximadamente 1 mês após início da operação do sistema. Isto ocorre pois o fornecimento de água através de caminhões pipa apresenta um alto custo de compra quando comparado a instalação e operação do sistema.

Também é importante ressaltar que devido grande flexibilidade de instalação dos painéis fotovoltaicos, que são capazes de gerar energia elétrica em localidades que haja irradiação solar, e a flexibilidade de sistemas de osmose reversa, que tem construção modular, este tipo de solução combinada de tecnologias pode ser analisado em outros casos como uma possível solução para redução dos efeitos da seca no semiárido brasileiro.

5 BIBLIOGRAFIA

CANADIAN SOLAR. Folha de dados CS6X. **Painel CS6X**, 2018. Disponível em: <https://www.canadiansolar.com/fileadmin/user_upload/downloads/datasheets/en/new/2018-4-12-v5.562/Canadian_Solar-Datasheet-_Dymond_CS6X-P-FG_v5.562_EN.pdf>. Acesso em: 2018 Junho 28.

CHENOWETH, J. Minimum water requirement for social and economic development. In: HILAL, N. **Desalination**. 1 - 3. ed. [S.l.]: [s.n.], v. 229, 2008. p. 245-256.

CLIMATE-DATA. CLIMA: SANTANA DO MATOS. **Climante-data**, 2018. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/location/880373/>>. Acesso em: 2018 Junho 30.

CRESESB. Potencial Solar - SunData v 3.0. **CRESESB**, 2018. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br>>. Acesso em: 2018 Junho 24.

DEGREMONT. Disponível em: <http://www.degremont.com/cms/degremont_7_refonte/upload/savoir-faire/en/reverse_osmosis.png>.

DEMING POWER. Solar Charger 240V50A. **Deming Power**, 2018. Disponível em: <http://www.demingpower.com/en/h-pd-126.html#_pp=0_564_7_-1>. Acesso em: 2018 Junho 30.

DOW WATER & PROCESS SOLUTIONS. **FILMTEC™ Reverse Osmosis Membranes - Technical Manual**. [S.l.].

DOW WATER. DOW FILMTEC BW30-400. **DOW WATER**, 2018. Disponível em: <http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh_0943/0901b80380943da3.pdf?filepath=liquidseps/pdfs/noreg/609-00091.pdf&fromPage=GetDoc>. Acesso em: 2018 Junho 17.

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar Engineering of Thermal Processes**. 4ª ed. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2013.

FILLTRUS. Filtro cartucho. **Filltrus**, 2018. Disponível em: <<http://www.filltrus.com.br/filtro-cartucho-carcacas/>>. Acesso em: 2018 Junho 12.

FRONIUS. FRONIUS SYMO 15.0-3. **FRONIUS**, 2018. Disponível em: <<https://www.fronius.com/pt-br/brasil/energia-solar/produtos/todos-os-produtos/inversor/fronius-symo/fronius-symo-15-0-3-m>>. Acesso em: 2018 Junho 30.

GREEN RHINO ENERGY. Impact of Shading. **Green Rhino Energy**, 2018. Disponível em: <https://www.google.com.br/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fwww.greenrhinoenergy.com%2Fsolar%2Fperformance%2Fimages%2Fsolar_park-01.jpg&imgrefurl=http%3A%2F%2Fwww.greenrhinoenergy.com%2Fsolar%2Fperfor>

mance%2Fshading.php&docid=DF6DfMBalgxsdM&tbnid=eb-0HsaOETwbEM%>. Acesso em: 2018 Junho 23.

GRUNDFOS. Product Center - CR15-9. **Grundfos**, 2018. Disponível em: <https://product-selection.grundfos.com/product-detail.sizing-result.html?from_suid=1530242206852009026895550766323&pumpsystemid=397610312&qcid=397610384>. Acesso em: 2018 Junho 10.

GRUNDFOS. Product Center - CR20-3. **Grundfos**, 2018. Disponível em: <https://product-selection.grundfos.com/product-detail.sizing-result.html?from_suid=152902157706609248044416894032&pumpsystemid=390680927&qcid=390680948>. Acesso em: 2018 Junho 14.

GRUNDFOS. Product Center - CR64-1. **Grundfos**, 2018. Disponível em: <https://product-selection.grundfos.com/product-detail.sizing-result.html?from_suid=1529017371856001538374002140852&pumpsystemid=390674389&qcid=390674419>. Acesso em: 2018 Junho 14.

GRUNDFOS. Product Center - SP30-7. **Grundfos**, 2018. Disponível em: <https://product-selection.grundfos.com/product-detail.sizing-result.html?from_suid=1529022585196003165501501682666&pumpsystemid=390682270&qcid=390682298>. Acesso em: 2018 Junho 14.

GRUNDFOS. Product Center CR 15-6. **Grundfos**, 2018. Disponível em: <https://product-selection.grundfos.com/product-detail.sizing-result.html?from_suid=153024237776904832229227716347&pumpsystemid=397611117&qcid=397611162>. Acesso em: 2018 Junho 06.

HONSBURG, C.; BOWDEN, S. Solar Energy. **PV Education**, 2018. Disponível em: <<http://pveducation.org>>. Acesso em: 2018 Maio 31.

HOWARD, G.; BARTRAM, J. **Domestic Water Quantity**. [S.l.]. 2003.
IBGE. Censo. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/santana-do-matos/panorama>>. Acesso em: 2018 Junho 10.

KRISHNA, H. J. Introduction to Desalination Technologies. **Texas Water Development Board**, Dezembro 2004. Disponível em: <http://www.twdb.texas.gov/publications/reports/numbered_reports/doc/r363/c1.pdf>.

LITER. Filtro de Carvão Ativado. **Liter**, 2018. Disponível em: <<https://liter.com.br/filtro-de-carvao-ativado/#1468965797754-e98e7aae-124f>>. Acesso em: 2018 Junho 12.

LITER. Liter. **Liter**. Disponível em: <<https://liter.com.br/o-ph-da-agua-de-chuva/>>. Acesso em: 2018 maio 31.

MINITÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. Minitério da Integração Nacional. **Site do Ministério da Integração Nacional**, 07 Maio 2018. Disponível em: <<http://www.integracao.gov.br/semiarido-brasileiro>>.

NATURALTEC. Filtros e Filtração de Água – Areia Especial Para Filtros de Água. **Naturalrec**, 2018. Disponível em: <<http://www.snatural.com.br/filtracao-agua-areia/>>. Acesso em: 2018 Junho 12.

NATURALTEC. Filtros em PRFV. **NaturalTec**, 2018. Disponível em: <<http://www.naturaltec.com.br/filtro-prfv/>>. Acesso em: 2018 Junho 12.

NEO SOLAR. Bateria Heliar DF700. **NeoSolar Baterias**, 2018. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/bateria-estacionaria-freedom-df700-50ah-45ah.html>>. Acesso em: 2018 Junho 30.

PACHECO, C. R. F. Fundamentos da Utilização de Energia Solar. In: SIMÕES MOREIRA, J. R. **Energia Solar - Tecnologia e Aplicação**. 1ª. ed. [S.l.]: Grupo Editorial Nacional, 2017. p. 187 - 221.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltáicos**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2014.

PROMINENT. Beta® b. **ProMinent**, 2018. Disponível em: <https://www.pump-guide.com/uploads/tx_cagpp/Datenblatt_Beta_EN.pdf>. Acesso em: 2018 Junho 16.

RUBIM, C. Uso de filtros multimídia. **TAE**, Outubro 2012.

SOWMY, D. S. Energia Solar - Tecnologia e Aplicação. In: SIMÕES MOREIRA, J. R. **Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética**. [S.l.]: [s.n.], 2017. p. 222 - 234.

SUASSUNA, J. Fundação Joaquim Nabuco. **Fundação Joaquim Nabuco**, 2 Fevereiro 2002. Disponível em: <http://www.fundaj.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=659&Itemid=376>.

THE EDITORS OF ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA. Encyclopaedia Britannica. **Encyclopædia Britannica, inc**, 30 Maio 2018. Disponível em: <<https://www.britannica.com/technology/desalination>>.

TORAY WATER. Features of Reverse Osmosis. **Toray Water**, 2018. Disponível em: <http://www.toraywater.com/knowledge/kno_001_02.html>. Acesso em: 2018 Junho 17.

ZILLES, R. et al. **Sistemas Fotovoltáicos Conectados a Rede Elétrica**. 1º. ed. [S.l.]: Oficina de Textos, 2012.

APÊNDICE 1 - SIMULAÇÃO 1

ROSA Detailed Report

Page 1 of 3

Reverse Osmosis System Analysis for FILMTEC™ Membranes

ROSA 9.1 ConfigDB u399339_282

Project: Monografia

Case: 1

Marcelo Rocha, Pece

6/10/2018

Project Information:

Case-specific:

System Details

Feed Flow to Stage 1	20.00 m³/h	Pass 1 Permeate Flow	15.00 m³/h	Osmotic Pressure:	
Raw Water Flow to System	20.00 m³/h	Pass 1 Recovery	75.01 %	Feed	0.68 bar
Feed Pressure	12.04 bar	Feed Temperature	25.0 C	Concentrate	2.56 bar
Flow Factor	0.85	Feed TDS	1058.85 mg/l	Average	1.62 bar
Chem. Dose	None	Number of Elements	15	Average NDP	9.30 bar
Total Active Area	557.40 M²	Average Pass 1 Flux	26.91 l/mh	Power	8.36 kW
Water Classification: Well Water SDI < 3				Specific Energy	0.56 kWh/m³

Stage	Element	#PV	#Ele	Feed Flow (m³/h)	Feed Press (bar)	Recirc Flow (m³/h)	Conc Flow (m³/h)	Conc Press (bar)	Perm Flow (m³/h)	Avg Flux (l/mh)	Perm Press (bar)	Boost Press (bar)	Perm TDS (mg/l)
1	BW30-400	2	5	20.00	11.70	0.00	9.18	10.58	10.82	29.12	0.00	0.00	8.81
2	BW30-400	1	5	9.18	10.24	0.00	5.00	9.18	4.18	22.51	0.00	0.00	25.57

Pass Streams (mg/l as Ion)							
Name	Feed	Adjusted Feed	Concentrate		Permeate		
			Stage 1	Stage 2	Stage 1	Stage 2	Total
NH4+ + NH3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	11.31	11.31	24.08	43.16	0.47	1.28	0.70
Na	170.89	197.57	428.29	782.16	1.80	5.38	2.80
Mg	57.96	57.96	125.94	230.63	0.28	0.82	0.43
Ca	74.20	74.20	161.24	295.30	0.35	1.02	0.53
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO3	1.10	1.10	4.46	11.87	0.00	0.00	0.00
HCO3	169.69	169.69	363.50	656.19	1.75	4.87	2.61
NO3	6.00	6.00	11.97	19.93	0.93	2.47	1.36
Cl	429.65	429.65	932.58	1705.65	2.89	8.70	4.51
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO4	111.36	111.36	242.18	443.98	0.35	1.02	0.54
SiO2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO2	3.17	3.16	4.36	6.54	3.39	4.91	3.82
TDS	1032.17	1058.85	2294.25	4188.89	8.81	25.57	13.48
pH	7.80	7.80	7.94	7.97	5.92	6.19	6.04

Reverse Osmosis System Analysis for FILMTEC™ Membranes
 Project: Monografia
 Marcelo Rocha, Pece

ROSA 9.1 ConfigDB u399339_282
 Case: 1
 6/10/2018

Design Warnings

-None-

Solubility Warnings

Langelier Saturation Index > 0

Stiff & Davis Stability Index > 0

Antiscalants may be required. Consult your antiscalant manufacturer for dosing and maximum allowable system recovery.

Stage Details

Stage 1 Element Recovery		Perm Flow (m³/h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m³/h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
1	0.12	1.16	5.38	10.00	1058.85	11.70
2	0.13	1.12	6.62	8.84	1196.93	11.38
3	0.14	1.08	8.28	7.72	1369.25	11.11
4	0.16	1.04	10.59	6.64	1590.51	10.89
5	0.18	1.01	13.97	5.60	1884.92	10.72
Stage 2 Element Recovery		Perm Flow (m³/h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m³/h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
1	0.10	0.94	17.02	9.18	2294.25	10.24
2	0.11	0.89	20.51	8.24	2554.76	9.95
3	0.11	0.84	24.93	7.34	2862.13	9.71
4	0.12	0.78	30.65	6.51	3227.67	9.50
5	0.13	0.72	38.19	5.72	3664.81	9.33

Scaling Calculations

	Raw Water	Adjusted Feed	Concentrate
pH	7.80	7.80	7.97
Langelier Saturation Index	0.29	0.29	1.60
Stiff & Davis Stability Index	0.61	0.61	1.41
Ionic Strength (Molal)	0.02	0.02	0.09
TDS (mg/l)	1032.17	1058.85	4188.89
HCO ₃	169.69	169.69	656.19
CO ₂	3.17	3.17	6.54
CO ₃	1.10	1.10	11.87
CaSO ₄ (% Saturation)	1.67	1.67	12.32
BaSO ₄ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
SrSO ₄ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
CaF ₂ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
SiO ₂ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
Mg(OH) ₂ (% Saturation)	0.01	0.01	0.07

To balance: 26.68 mg/l Na added to feed.

APÊNDICE 2 - SIMULAÇÃO 2

ROSA Detailed Report

Page 1 of 3

Reverse Osmosis System Analysis for FILMTEC™ Membranes

ROSA 9.1 ConfigDB u399339_282

Project: Monografia

Case: 2

Marcelo Rocha, Pece

6/12/2018

Project Information:

Case-specific:

System Details

Feed Flow to Stage 1	20.00 m³/h	Pass 1 Permeate Flow	15.00 m³/h	Osmotic Pressure:	
Raw Water Flow to System	20.00 m³/h	Pass 1 Recovery	74.99 %	Feed	0.68 bar
Feed Pressure	8.11 bar	Feed Temperature	25.0 C	Concentrate	2.54 bar
Flow Factor	0.85	Feed TDS	1058.85 mg/l	Average	1.61 bar
Chem. Dose	None	Number of Elements	15	Average NDP	5.38 bar
Total Active Area	557.40 M²	Average Pass 1 Flux	26.91 l/mh	Power	5.63 kW
Water Classification: Well Water SDI < 3				Specific Energy	0.38 kWh/m³

Stage	Element	#PV	#Ele	Feed Flow (m³/h)	Feed Press (bar)	Recirc Flow (m³/h)	Conc Flow (m³/h)	Conc Press (bar)	Perm Flow (m³/h)	Avg Flux (lmh)	Perm Press (bar)	Boost Press (bar)	Perm TDS (mg/l)
1	LE-400	2	5	20.00	7.77	0.00	8.59	6.70	11.41	30.70	0.00	0.00	15.37
2	LE-400	1	5	8.59	6.35	0.00	5.00	5.37	3.59	19.31	0.00	0.00	45.45

Pass Streams (mg/l as Ion)							
Name	Feed	Adjusted Feed	Concentrate		Permeate		
			Stage 1	Stage 2	Stage 1	Stage 2	Total
NH4+ + NH3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	11.31	11.31	25.19	41.70	0.85	2.18	1.17
Na	170.89	197.57	455.76	775.72	3.14	9.67	4.70
Mg	57.96	57.96	134.27	229.54	0.49	1.46	0.72
Ca	74.20	74.20	171.92	293.92	0.61	1.84	0.90
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO3	1.10	1.10	4.95	11.73	0.00	0.00	0.00
HCO3	169.69	169.69	386.30	650.71	2.95	8.61	4.30
NO3	6.00	6.00	11.76	17.24	1.66	4.13	2.25
Cl	429.65	429.65	993.47	1694.78	5.05	15.73	7.60
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO4	111.36	111.36	258.41	442.45	0.62	1.83	0.91
SiO2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO2	3.17	3.16	4.52	6.49	3.44	5.03	3.82
TDS	1032.17	1058.85	2442.06	4157.80	15.37	45.45	22.56
pH	7.80	7.80	7.95	7.97	6.14	6.42	6.25

Reverse Osmosis System Analysis for FILMTEC™ Membranes
 Project: Monografia
 Marcelo Rocha, Pece

ROSA 9.1 ConfigDB u399339_282
 Case: 2
 6/12/2018

Design Warnings

-None-

Solubility Warnings

Langelier Saturation Index > 0

Stiff & Davis Stability Index > 0

Antiscalants may be required. Consult your antiscalant manufacturer for dosing and maximum allowable system recovery.

Stage Details

Stage 1 Element Recovery		Perm Flow (m³/h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m³/h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
1	0.13	1.29	9.32	10.00	1058.85	7.77
2	0.14	1.21	11.64	8.71	1213.57	7.45
3	0.15	1.14	14.69	7.50	1407.02	7.19
4	0.17	1.07	18.83	6.37	1655.62	6.98
5	0.19	1.00	24.74	5.30	1986.01	6.82
Stage 2 Element Recovery		Perm Flow (m³/h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m³/h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
1	0.10	0.89	30.23	8.59	2442.06	6.35
2	0.10	0.80	36.86	7.70	2720.63	6.09
3	0.10	0.72	45.31	6.90	3032.88	5.87
4	0.10	0.63	56.25	6.18	3379.05	5.68
5	0.10	0.55	70.61	5.55	3756.35	5.51

Scaling Calculations

	Raw Water	Adjusted Feed	Concentrate
pH	7.80	7.80	7.97
Langelier Saturation Index	0.29	0.29	1.60
Stiff & Davis Stability Index	0.61	0.61	1.40
Ionic Strength (Molal)	0.02	0.02	0.09
TDS (mg/l)	1032.17	1058.85	4157.80
HCO ₃	169.69	169.69	650.71
CO ₂	3.17	3.17	6.49
CO ₃	1.10	1.10	11.73
CaSO ₄ (% Saturation)	1.67	1.67	12.27
BaSO ₄ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
SrSO ₄ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
CaF ₂ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
SiO ₂ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
Mg(OH) ₂ (% Saturation)	0.01	0.01	0.07

To balance: 26.68 mg/l Na added to feed.

APÊNDICE 3 - SIMULAÇÃO 1 COM RECIRCULAÇÃO

ROSA Detailed Report

Page 1 of 3

Reverse Osmosis System Analysis for FILMTEC™ Membranes

ROSA 9.1 ConfigDB u399339_282

Project: Monografia

Case: 3

Marcelo Rocha, Pece

6/12/2018

Project Information:

Case-specific:

System Details

Feed Flow to Stage 1	20.00 m³/h	Pass 1 Permeate Flow	15.00 m³/h	Osmotic Pressure:	
Raw Water Flow to System	30.00 m³/h	Pass 1 Recovery	75.01 %	Feed	0.68 bar
Feed Pressure	12.04 bar	Feed Temperature	25.0 C	Concentrate	2.56 bar
Flow Factor	0.85	Feed TDS	1058.85 mg/l	Average	1.62 bar
Chem. Dose	None	Number of Elements	15	Average NDP	9.30 bar
Total Active Area	557.40 M²	Average Pass 1 Flux	26.91 lmh	Power	8.36 kW
Water Classification: Well Water SDI < 3		Bypass Blending Flow	10.00 m³/h	Specific Energy	0.33 kWh/m³
System Recovery	83.34 %	Total Blended Product	25.00 m³/h		

Stage	Element	#PV	#Ele	Feed Flow (m³/h)	Feed Press (bar)	Recirc Flow (m³/h)	Conc Flow (m³/h)	Conc Press (bar)	Perm Flow (m³/h)	Avg Flux (lmh)	Perm Press (bar)	Boost Press (bar)	Perm TDS (mg/l)
1	BW30-400	2	5	20.00	11.70	0.00	9.18	10.58	10.82	29.12	0.00	0.00	8.81
2	BW30-400	1	5	9.18	10.24	0.00	5.00	9.18	4.18	22.51	0.00	0.00	25.57

Pass Streams (mg/l as Ion)								
Name	Feed	Adjusted Feed	Concentrate		Permeate			
			Stage 1	Stage 2	Stage 1	Stage 2	Total	Blended Total
NH4+ + NH3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	11.31	11.31	24.08	43.16	0.47	1.28	0.70	4.94
Na	170.89	197.57	428.29	782.16	1.80	5.38	2.80	80.70
Mg	57.96	57.96	125.94	230.63	0.28	0.82	0.43	23.44
Ca	74.20	74.20	161.24	295.30	0.35	1.02	0.53	30.00
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO3	1.10	1.10	4.46	11.87	0.00	0.00	0.00	0.15
HCO3	169.69	169.69	363.50	656.19	1.75	4.87	2.61	69.98
NO3	6.00	6.00	11.97	19.93	0.93	2.47	1.36	3.22
Cl	429.65	429.65	932.58	1705.65	2.89	8.70	4.51	174.55
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO4	111.36	111.36	242.18	443.98	0.35	1.02	0.54	44.86
SiO2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO2	3.17	3.16	4.36	6.54	3.39	4.91	3.82	3.38
TDS	1032.17	1058.85	2294.25	4188.89	8.81	25.57	13.48	431.85
pH	7.80	7.80	7.94	7.97	5.92	6.19	6.04	7.43

Reverse Osmosis System Analysis for FILMTEC™ Membranes
 Project: Monografia
 Marcelo Rocha, Pece

ROSA 9.1 ConfigDB u399339_282
 Case: 3
 6/12/2018

Design Warnings

-None-

Solubility Warnings

Langelier Saturation Index > 0

Stiff & Davis Stability Index > 0

Antiscalants may be required. Consult your antiscalant manufacturer for dosing and maximum allowable system recovery.

Stage Details

Stage 1 Element	Recovery	Perm Flow (m³/h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m³/h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
1	0.12	1.16	5.38	10.00	1058.85	11.70
2	0.13	1.12	6.62	8.84	1196.93	11.38
3	0.14	1.08	8.28	7.72	1369.25	11.11
4	0.16	1.04	10.59	6.64	1590.51	10.89
5	0.18	1.01	13.97	5.60	1884.92	10.72
Stage 2 Element	Recovery	Perm Flow (m³/h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m³/h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
1	0.10	0.94	17.02	9.18	2294.25	10.24
2	0.11	0.89	20.51	8.24	2554.76	9.95
3	0.11	0.84	24.93	7.34	2862.13	9.71
4	0.12	0.78	30.65	6.51	3227.67	9.50
5	0.13	0.72	38.19	5.72	3664.81	9.33

Scaling Calculations

	Raw Water	Adjusted Feed	Concentrate
pH	7.80	7.80	7.97
Langelier Saturation Index	0.29	0.29	1.60
Stiff & Davis Stability Index	0.61	0.61	1.41
Ionic Strength (Molal)	0.02	0.02	0.09
TDS (mg/l)	1032.17	1058.85	4188.89
HCO ₃	169.69	169.69	656.19
CO ₂	3.17	3.17	6.54
CO ₃	1.10	1.10	11.87
CaSO ₄ (% Saturation)	1.67	1.67	12.32
BaSO ₄ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
SrSO ₄ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
CaF ₂ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
SiO ₂ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
Mg(OH) ₂ (% Saturation)	0.01	0.01	0.07

To balance: 26.68 mg/l Na added to feed.

APÊNDICE 4 - SIMULAÇÃO 2 COM RECIRCULAÇÃO

ROSA Detailed Report

Page 1 of 3

Reverse Osmosis System Analysis for FILMTEC™ Membranes

ROSA 9.1 ConfigDB u399339_282

Project: Monografia

Case: 4

Marcelo Rocha, Pece

6/12/2018

Project Information:

Case-specific:

System Details

Feed Flow to Stage 1	20.00 m³/h	Pass 1 Permeate Flow	15.00 m³/h	Osmotic Pressure:	
Raw Water Flow to System	30.00 m³/h	Pass 1 Recovery	74.99 %	Feed	0.68 bar
Feed Pressure	8.11 bar	Feed Temperature	25.0 C	Concentrate	2.54 bar
Flow Factor	0.85	Feed TDS	1058.85 mg/l	Average	1.61 bar
Chem. Dose	None	Number of Elements	15	Average NDP	5.38 bar
Total Active Area	557.40 M²	Average Pass 1 Flux	26.91 lmh	Power	5.63 kW
Water Classification: Well Water SDI < 3		Bypass Blending Flow	10.00 m³/h	Specific Energy	0.23 kWh/m³
System Recovery	83.32 %	Total Blended Product	25.00 m³/h		

Stage	Element	#PV	#Ele	Feed Flow (m³/h)	Feed Press (bar)	Recirc Flow (m³/h)	Conc Flow (m³/h)	Conc Press (bar)	Perm Flow (m³/h)	Avg Flux (lmh)	Perm Press (bar)	Boost Press (bar)	Perm TDS (mg/l)
1	LE-400	2	5	20.00	7.77	0.00	8.59	6.70	11.41	30.70	0.00	0.00	15.37
2	LE-400	1	5	8.59	6.35	0.00	5.00	5.37	3.59	19.31	0.00	0.00	45.45

Pass Streams (mg/l as Ion)								
Name	Feed	Adjusted Feed	Concentrate		Permeate			
			Stage 1	Stage 2	Stage 1	Stage 2	Total	Blended Total
NH4+ + NH3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	11.31	11.31	25.19	41.70	0.85	2.18	1.17	5.23
Na	170.89	197.57	455.76	775.72	3.14	9.67	4.70	81.86
Mg	57.96	57.96	134.27	229.54	0.49	1.46	0.72	23.62
Ca	74.20	74.20	171.92	293.92	0.61	1.84	0.90	30.22
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO3	1.10	1.10	4.95	11.73	0.00	0.00	0.00	0.15
HCO3	169.69	169.69	386.30	650.71	2.95	8.61	4.30	71.01
NO3	6.00	6.00	11.76	17.24	1.66	4.13	2.25	3.75
Cl	429.65	429.65	993.47	1694.78	5.05	15.73	7.60	176.44
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO4	111.36	111.36	258.41	442.45	0.62	1.83	0.91	45.09
SiO2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO2	3.17	3.16	4.52	6.49	3.44	5.03	3.82	3.38
TDS	1032.17	1058.85	2442.06	4157.80	15.37	45.45	22.56	437.39
pH	7.80	7.80	7.95	7.97	6.14	6.42	6.25	7.44

Reverse Osmosis System Analysis for FILMTEC™ Membranes
 Project: Monografia
 Marcelo Rocha, Pece

ROSA 9.1 ConfigDB u399339_282
 Case: 4
 6/12/2018

Design Warnings

-None-

Solubility Warnings

Langelier Saturation Index > 0

Stiff & Davis Stability Index > 0

Antiscalants may be required. Consult your antiscalant manufacturer for dosing and maximum allowable system recovery.

Stage Details

Stage 1 Element Recovery		Perm Flow (m³/h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m³/h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
1	0.13	1.29	9.32	10.00	1058.85	7.77
2	0.14	1.21	11.64	8.71	1213.57	7.45
3	0.15	1.14	14.69	7.50	1407.02	7.19
4	0.17	1.07	18.83	6.37	1655.62	6.98
5	0.19	1.00	24.74	5.30	1986.01	6.82
Stage 2 Element Recovery		Perm Flow (m³/h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m³/h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
1	0.10	0.89	30.23	8.59	2442.06	6.35
2	0.10	0.80	36.86	7.70	2720.63	6.09
3	0.10	0.72	45.31	6.90	3032.88	5.87
4	0.10	0.63	56.25	6.18	3379.05	5.68
5	0.10	0.55	70.61	5.55	3756.35	5.51

Scaling Calculations

	Raw Water	Adjusted Feed	Concentrate
pH	7.80	7.80	7.97
Langelier Saturation Index	0.29	0.29	1.61
Stiff & Davis Stability Index	0.61	0.61	1.40
Ionic Strength (Molal)	0.02	0.02	0.09
TDS (mg/l)	1032.17	1058.85	4157.80
HCO ₃	169.69	169.69	650.71
CO ₂	3.17	3.17	6.49
CO ₃	1.10	1.10	11.73
CaSO ₄ (% Saturation)	1.67	1.67	12.28
BaSO ₄ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
SrSO ₄ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
CaF ₂ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
SiO ₂ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
Mg(OH) ₂ (% Saturation)	0.01	0.01	0.07

To balance: 26.68 mg/l Na added to feed.

APÊNDICE 5 - CALCULO DOSAGEM ANTIINCRUSTRANTE

Flodose®



Project Information

Project: Monografia
Engineer: M. Rocha
Client: Marcelo Rocha

Flodose by BWA
 Program Version: 1.7
 Print Date: 16/06/2018

Plant Data

Feedwater Type: Brackish Water
Feedwater Flow: 20.00 m³/h
Permeate Flow: 15.00 m³/h
System Recovery: 75.00%
RO Membrane Type: High Flux Low Pressure

Concentrate Flow: 5.00 m³/h
Recycle Flow: 0.00 m³/h
RO Recovery: 75.00%
Membrane Rejection: 98.02%

Product Recommendation: – Flocon 135

Recommended Dose Rates: 0.9 mg/l - Feed 3.6 mg/l - Conc.
Est. Product Usage (100%): 0.43 kg/day 0.16 MT/yr

Acid Dosing

Est. Acid Dose (100%): 0.0 mg/l - Feed
pH Control Method: None
Est. Acid Usage (100%): 0.00 kg/day 0.00 MT/yr

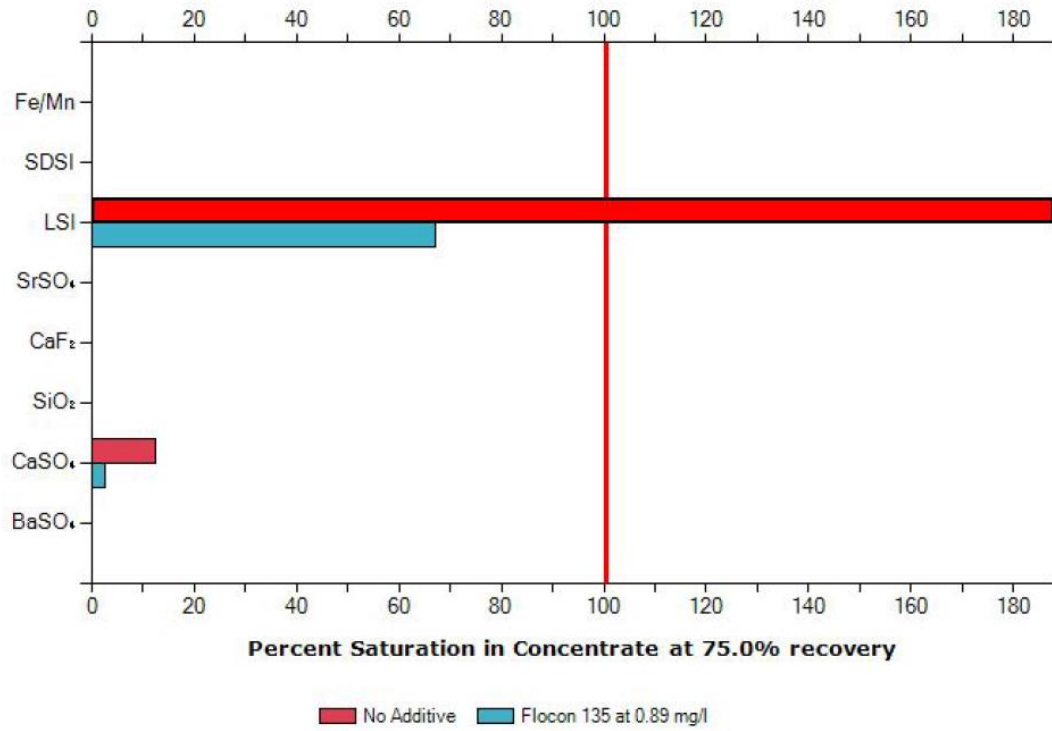
mg/l at 25.0°C	Raw Water	Treated Feed	Product	Concentrate
Ca ²⁺	74.20	74.20	2.14	289.94
Mg ²⁺	57.96	57.96	1.69	226.45
Na ⁺	197.57	197.57	7.82	765.28
K ⁺	11.31	11.31	0.46	43.77
NH ₄ ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba ²⁺	0.00	0.00	0.00	0.00
Sr ²⁺	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ²⁺ /Fe ³⁺ /Mn ²⁺	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ³⁺	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO ₃ ⁻	169.69	169.69	7.25	642.71
Cl ⁻	433.47	433.47	17.22	1,679.05
SO ₄ ²⁻	111.36	111.36	3.27	435.01
F ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00
NO ₃ ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00
PO ₄ ³⁻	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₃ ²⁻	0.82	0.82	0.00	16.10
CO ₂	3.85	3.85	3.65	3.77
TDS	1,056.38	1,056.38	39.86	4,098.30
Ionic Strength	0.02	0.02	0.00	0.09
pH	7.80	7.80	6.50	8.34

Saturation Index (SI)	Raw Water	Treated Feed	Concentrate	% Max SI of Flocon 135
LSI	0.353	0.353	1.879	67.10%
SDSI	N/A	N/A	N/A	N/A
CaSO ₄	0.018	0.018	0.125	2.50%
BaSO ₄	0.000	0.000	0.000	0.00%
SrSO ₄	0.000	0.000	0.000	0.00%
CaF ₂	0.000	0.000	0.000	0.00%
SiO ₂	0.000	0.000	0.000	0.00%
Iron/Manganese	0.000	0.000	0.000	0.00%
Aluminium	0.000	0.000	0.000	0.00%

Flodose®



Scaling Species



APÊNDICE 6 - IRRADIAÇÃO MÉDIA DIÁRIA – JANEIRO

HS	ω (°)	rt	rd	Id (kWh/m ²)	I (kWh/m ²)	Ib (kWh/m ²)	Rb	It (kWh/m ²)	Gt (W/m ²)	Ta (°C)	Tc (°C)	Pfv (W)	Pm (kW)	Ec (kWh)	Ea (kWh)
5:30	- 97,5	- 0,01	- 0,01				1,74			23,7	23,7	-	-		-
6:30	- 82,5	0,02	0,02	0,05	0,09	0,04	0,61	0,07	74,5	23,1	25,0	24,6	3,9		3,9
7:30	- 67,5	0,04	0,05	0,12	0,26	0,14	0,84	0,24	237,0	24,5	30,6	76,5	12,2		16,2
8:30	- 52,5	0,07	0,08	0,18	0,44	0,26	0,90	0,42	415,2	25,8	36,6	130,7	20,9	21,0	16,1
9:30	- 37,5	0,10	0,10	0,24	0,61	0,38	0,92	0,58	583,6	27,2	42,3	179,3	28,7	21,0	23,9
10:30	- 22,5	0,12	0,12	0,27	0,75	0,47	0,93	0,71	715,0	28,5	47,0	215,1	34,4	21,0	37,3
11:30	- 7,5	0,14	0,13	0,29	0,82	0,53	0,94	0,79	787,0	29,9	50,2	233,5	37,4	21,0	53,7
12:30	7,5	0,14	0,13	0,29	0,82	0,53	0,94	0,79	787,0	31,2	51,6	232,1	37,1	21,0	69,9
13:30	22,5	0,12	0,12	0,27	0,75	0,47	0,93	0,71	715,0	32,6	51,1	211,3	33,8	21,0	82,8
14:30	37,5	0,10	0,10	0,24	0,61	0,38	0,92	0,58	583,6	32,0	47,1	175,5	28,1	18,2	92,7
15:30	52,5	0,07	0,08	0,18	0,44	0,26	0,90	0,42	415,2	31,5	42,2	127,6	20,4	21,0	92,2
16:30	67,5	0,04	0,05	0,12	0,26	0,14	0,84	0,24	237,0	30,9	37,1	74,4	11,9	21,0	83,1
17:30	82,5	0,02	0,02	0,05	0,09	0,04	0,61	0,07	74,5	30,4	32,3	23,9	3,8	21,0	66,0
18:30	97,5	- 0,01	- 0,01				1,74			29,8	29,8	-		21,0	45,0
19:30	112,5	- 0,02	- 0,04				1,20			29,2	29,2	-		21,0	24,1
20:30	127,5	- 0,03	- 0,07				1,12			28,7	28,7	-		21,0	3,1

APÊNDICE 7 - IRRADIAÇÃO MÉDIA DIÁRIA – FEVEREIRO

HS	ω (°)	rt	rd	Id (kWh/m ²)	I (kWh/m ²)	Ib (kWh/m ²)	Rb	It (kWh/m ²)	Gt (W/m ²)	Ta (°C)	Tc (°C)	Pfv (W)	Pm (kW)	Ec (kWh)	Ea (kWh)
5:30	- 97,5	- 0,01	- 0,01				1,38			23,7	23,7	-	-		-
6:30	- 82,5	0,01	0,02	0,05	0,08	0,04	0,74	0,07	73,9	23,2	25,1	24,4	3,9		3,9
7:30	- 67,5	0,04	0,05	0,12	0,25	0,13	0,90	0,24	239,9	24,5	30,7	77,4	12,4		16,3
8:30	- 52,5	0,07	0,08	0,18	0,44	0,25	0,94	0,42	422,6	25,8	36,8	132,9	21,3	21,0	16,6
9:30	- 37,5	0,10	0,10	0,24	0,61	0,38	0,95	0,60	595,3	27,1	42,5	182,7	29,2	21,0	24,9
10:30	- 22,5	0,13	0,12	0,28	0,75	0,47	0,96	0,73	730,4	28,5	47,4	219,5	35,1	21,0	39,0
11:30	- 7,5	0,14	0,13	0,30	0,82	0,53	0,96	0,80	804,4	29,8	50,6	238,3	38,1	21,0	56,2
12:30	7,5	0,14	0,13	0,30	0,82	0,53	0,96	0,80	804,4	31,1	51,9	236,9	37,9	21,0	73,2
13:30	22,5	0,13	0,12	0,28	0,75	0,47	0,96	0,73	730,4	32,4	51,3	215,7	34,5	21,0	86,7
14:30	37,5	0,10	0,10	0,24	0,61	0,38	0,95	0,60	595,3	31,9	47,3	179,0	28,6	18,2	97,2
15:30	52,5	0,07	0,08	0,18	0,44	0,25	0,94	0,42	422,6	31,3	42,3	129,8	20,8	21,0	97,0
16:30	67,5	0,04	0,05	0,12	0,25	0,13	0,90	0,24	239,9	30,8	37,0	75,4	12,1	21,0	88,1
17:30	82,5	0,01	0,02	0,05	0,08	0,04	0,74	0,07	73,9	30,2	32,1	23,7	3,8	21,0	71,0
18:30	97,5	- 0,01	- 0,01				1,38			29,7	29,7	-		21,0	50,0
19:30	112,5	- 0,02	- 0,05				1,12			29,2	29,2	-		21,0	29,1
20:30	127,5	- 0,03	- 0,07				1,07			28,6	28,6	-		21,0	8,1

APÊNDICE 8 - IRRADIAÇÃO MÉDIA DIÁRIA – MARÇO

HS	ω (°)	rt	rd	Id (kWh/m ²)	I (kWh/m ²)	Ib (kWh/m ²)	Rb	It (kWh/m ²)	Gt (W/m ²)	Ta (°C)	Tc (°C)	Pfv (W)	Pm (kW)	Ec (kWh)	Ea (kWh)
5:30	- 97,5	- 0,01	- 0,02				1,06			23,4	23,4	-	-		-
6:30	- 82,5	0,01	0,02	0,04	0,08	0,04	0,95	0,07	73,5	22,9	24,8	24,3	3,9		3,9
7:30	- 67,5	0,04	0,05	0,11	0,25	0,14	0,98	0,25	246,0	24,2	30,5	79,4	12,7		16,6
8:30	- 52,5	0,07	0,08	0,18	0,44	0,26	0,99	0,44	436,5	25,4	36,7	137,3	22,0	21,0	17,6
9:30	- 37,5	0,10	0,10	0,23	0,62	0,39	0,99	0,62	617,0	26,7	42,6	189,2	30,3	21,0	26,9
10:30	- 22,5	0,13	0,12	0,27	0,76	0,49	0,99	0,76	758,2	27,9	47,5	227,6	36,4	21,0	42,4
11:30	- 7,5	0,14	0,13	0,29	0,84	0,55	1,00	0,84	835,8	29,2	50,8	247,3	39,6	21,0	61,0
12:30	7,5	0,14	0,13	0,29	0,84	0,55	1,00	0,84	835,8	30,4	52,1	245,9	39,3	21,0	79,4
13:30	22,5	0,13	0,12	0,27	0,76	0,49	0,99	0,76	758,2	31,7	51,3	223,9	35,8	21,0	94,3
14:30	37,5	0,10	0,10	0,23	0,62	0,39	0,99	0,62	617,0	31,2	47,1	185,6	29,7	18,2	105,8
15:30	52,5	0,07	0,08	0,18	0,44	0,26	0,99	0,44	436,5	30,7	42,0	134,3	21,5	21,0	106,4
16:30	67,5	0,04	0,05	0,11	0,25	0,14	0,98	0,25	246,0	30,1	36,5	77,5	12,4	21,0	97,8
17:30	82,5	0,01	0,02	0,04	0,08	0,04	0,95	0,07	73,5	29,6	31,5	23,6	3,8	21,0	80,6
18:30	97,5	- 0,01	- 0,02				1,06			29,1	29,1	-	-	21,0	59,7
19:30	112,5	- 0,02	- 0,05				1,02			28,6	28,6	-	-	21,0	38,7
20:30	127,5	- 0,03	- 0,08				1,02			28,1	28,1	-	-	21,0	17,8

APÊNDICE 9 - IRRADIAÇÃO MÉDIA DIÁRIA – ABRIL

HS	ω (°)	rt	rd	Id (kWh/m ²)	I (kWh/m ²)	Ib (kWh/m ²)	Rb	It (kWh/m ²)	Gt (W/m ²)	Ta (°C)	Tc (°C)	Pfv (W)	Pm (kW)	Ec (kWh)	Ea (kWh)
5:30	- 97,5	- 0,01	- 0,02				0,81			23,2	23,2	-	-		-
6:30	- 82,5	0,01	0,02	0,03	0,06	0,03	1,26	0,07	68,4	22,7	24,5	22,6	3,6		3,6
7:30	- 67,5	0,04	0,05	0,10	0,23	0,12	1,08	0,24	236,6	23,9	30,0	76,5	12,2		15,9
8:30	- 52,5	0,07	0,08	0,17	0,41	0,24	1,05	0,42	422,8	25,1	36,0	133,4	21,3	21,0	16,2
9:30	- 37,5	0,10	0,10	0,22	0,59	0,37	1,04	0,60	599,8	26,3	41,8	184,6	29,5	21,0	24,8
10:30	- 22,5	0,13	0,12	0,25	0,72	0,47	1,04	0,74	738,4	27,5	46,6	222,6	35,6	21,0	39,5
11:30	- 7,5	0,14	0,13	0,27	0,80	0,52	1,03	0,81	814,6	28,7	49,8	242,2	38,7	21,0	57,3
12:30	7,5	0,14	0,13	0,27	0,80	0,52	1,03	0,81	814,6	29,9	51,0	240,9	38,5	21,0	74,9
13:30	22,5	0,13	0,12	0,25	0,72	0,47	1,04	0,74	738,4	31,1	50,2	219,1	35,1	21,0	89,0
14:30	37,5	0,10	0,10	0,22	0,59	0,37	1,04	0,60	599,8	30,6	46,1	181,2	29,0	18,2	99,8
15:30	52,5	0,07	0,08	0,17	0,41	0,24	1,05	0,42	422,8	30,1	41,1	130,6	20,9	21,0	99,8
16:30	67,5	0,04	0,05	0,10	0,23	0,12	1,08	0,24	236,6	29,6	35,7	74,7	12,0	21,0	90,8
17:30	82,5	0,01	0,02	0,03	0,06	0,03	1,26	0,07	68,4	29,1	30,9	22,0	3,5	21,0	73,3
18:30	97,5	- 0,01	- 0,02				0,81			28,6	28,6	-	-	21,0	52,4
19:30	112,5	- 0,03	- 0,05				0,93			28,1	28,1	-	-	21,0	31,4
20:30	127,5	- 0,03	- 0,08				0,96			27,6	27,6	-	-	21,0	10,5

APÊNDICE 10 - IRRADIAÇÃO MÉDIA DIÁRIA – MAIO

HS	ω (°)	rt	rd	Id (kWh/m ²)	I (kWh/m ²)	Ib (kWh/m ²)	Rb	It (kWh/m ²)	Gt (W/m ²)	Ta (°C)	Tc (°C)	Pfv (W)	Pm (kW)	Ec (kWh)	Ea (kWh)
5:30	- 97,5	- 0,01	- 0,02				0,64			22,8	22,8	-	-		-
6:30	- 82,5	0,01	0,01	0,03	0,05	0,02	1,63	0,06	62,5	22,3	23,9	20,7	3,3		3,3
7:30	- 67,5	0,04	0,05	0,09	0,20	0,11	1,17	0,22	222,5	23,4	29,2	72,2	11,5		14,9
8:30	- 52,5	0,07	0,08	0,15	0,38	0,23	1,11	0,40	400,2	24,6	34,9	126,8	20,3	21,0	14,2
9:30	- 37,5	0,10	0,10	0,20	0,54	0,34	1,08	0,57	569,3	25,7	40,5	176,3	28,2	21,0	21,5
10:30	- 22,5	0,13	0,12	0,23	0,67	0,44	1,07	0,70	702,0	26,9	45,0	213,1	34,1	21,0	34,6
11:30	- 7,5	0,14	0,13	0,25	0,74	0,49	1,07	0,77	774,9	28,0	48,1	232,1	37,1	21,0	50,8
12:30	7,5	0,14	0,13	0,25	0,74	0,49	1,07	0,77	774,9	29,2	49,2	230,9	37,0	21,0	66,8
13:30	22,5	0,13	0,12	0,23	0,67	0,44	1,07	0,70	702,0	30,3	48,5	209,9	33,6	21,0	79,4
14:30	37,5	0,10	0,10	0,20	0,54	0,34	1,08	0,57	569,3	29,8	44,6	173,2	27,7	18,2	89,0
15:30	52,5	0,07	0,08	0,15	0,38	0,23	1,11	0,40	400,2	29,4	39,7	124,3	19,9	21,0	87,9
16:30	67,5	0,04	0,05	0,09	0,20	0,11	1,17	0,22	222,5	28,9	34,6	70,6	11,3	21,0	78,2
17:30	82,5	0,01	0,01	0,03	0,05	0,02	1,63	0,06	62,5	28,4	30,0	20,2	3,2	21,0	60,5
18:30	97,5	- 0,01	- 0,02				0,64			27,9	27,9	-	-	21,0	39,6
19:30	112,5	- 0,03	- 0,06				0,86			27,5	27,5	-	-	21,0	18,6
20:30	127,5	- 0,03	- 0,09				0,91			27,0	27,0	-	-		18,6

APÊNDICE 11 - IRRADIAÇÃO MÉDIA DIÁRIA – JULHO

HS	ω (°)	rt	rd	Id (kWh/m ²)	I (kWh/m ²)	Ib (kWh/m ²)	Rb	It (kWh/m ²)	Gt (W/m ²)	Ta (°C)	Tc (°C)	Pfv (W)	Pm (kW)	Ec (kWh)	Ea (kWh)
5:30	- 97,5	- 0,01	- 0,02				0,61			21,3	21,3	-	-		-
6:30	- 82,5	0,01	0,01	0,02	0,04	0,02	1,76	0,06	60,7	20,8	22,4	20,2	3,2		3,2
7:30	- 67,5	0,04	0,05	0,09	0,20	0,11	1,20	0,22	217,7	22,0	27,6	71,1	11,4		14,6
8:30	- 52,5	0,07	0,08	0,15	0,37	0,22	1,12	0,39	392,3	23,2	33,3	125,1	20,0	21,0	13,7
9:30	- 37,5	0,10	0,11	0,19	0,53	0,33	1,09	0,56	558,5	24,4	38,8	174,1	27,9	21,0	20,6
10:30	- 22,5	0,13	0,12	0,23	0,66	0,43	1,08	0,69	688,9	25,5	43,4	210,6	33,7	21,0	33,3
11:30	- 7,5	0,14	0,13	0,24	0,73	0,48	1,07	0,76	760,5	26,7	46,4	229,5	36,7	21,0	49,1
12:30	7,5	0,14	0,13	0,24	0,73	0,48	1,07	0,76	760,5	27,9	47,6	228,3	36,5	21,0	64,7
13:30	22,5	0,13	0,12	0,23	0,66	0,43	1,08	0,69	688,9	29,1	46,9	207,4	33,2	21,0	76,9
14:30	37,5	0,10	0,11	0,19	0,53	0,33	1,09	0,56	558,5	28,6	43,1	171,0	27,4	18,2	86,1
15:30	52,5	0,07	0,08	0,15	0,37	0,22	1,12	0,39	392,3	28,1	38,3	122,6	19,6	21,0	84,8
16:30	67,5	0,04	0,05	0,09	0,20	0,11	1,20	0,22	217,7	27,6	33,3	69,5	11,1	21,0	74,9
17:30	82,5	0,01	0,01	0,02	0,04	0,02	1,76	0,06	60,7	27,1	28,7	19,7	3,2	21,0	57,1
18:30	97,5	- 0,01	- 0,02				0,61			26,7	26,7	-		21,0	36,2
19:30	112,5	- 0,03	- 0,06				0,84			26,2	26,2	-		21,0	15,2
20:30	127,5	- 0,03	- 0,09				0,90			25,7	25,7	-			15,2

APÊNDICE 12 - IRRADIAÇÃO MÉDIA DIÁRIA – AGOSTO

HS	ω (°)	rt	rd	Id (kWh/m ²)	I (kWh/m ²)	Ib (kWh/m ²)	Rb	It (kWh/m ²)	Gt (W/m ²)	Ta (°C)	Tc (°C)	Pfv (W)	Pm (kW)	Ec (kWh)	Ea (kWh)
5:30	- 97,5	- 0,01	- 0,02				0,73			21,5	21,5	-	-		-
6:30	- 82,5	0,01	0,01	0,03	0,06	0,03	1,40	0,07	70,3	21,0	22,8	23,4	3,7		3,7
7:30	- 67,5	0,04	0,05	0,10	0,23	0,13	1,12	0,24	244,3	22,2	28,6	79,5	12,7		16,5
8:30	- 52,5	0,07	0,08	0,16	0,42	0,26	1,07	0,44	437,3	23,5	34,8	138,7	22,2	21,0	17,7
9:30	- 37,5	0,10	0,10	0,21	0,60	0,39	1,06	0,62	620,8	24,7	40,8	191,9	30,7	21,0	27,4
10:30	- 22,5	0,13	0,12	0,25	0,74	0,50	1,05	0,76	764,6	26,0	45,8	231,4	37,0	21,0	43,5
11:30	- 7,5	0,14	0,13	0,26	0,82	0,55	1,05	0,84	843,6	27,2	49,0	251,6	40,3	21,0	62,8
12:30	7,5	0,14	0,13	0,26	0,82	0,55	1,05	0,84	843,6	28,5	50,3	250,2	40,0	21,0	81,9
13:30	22,5	0,13	0,12	0,25	0,74	0,50	1,05	0,76	764,6	29,7	49,5	227,6	36,4	21,0	97,4
14:30	37,5	0,10	0,10	0,21	0,60	0,39	1,06	0,62	620,8	29,2	45,3	188,3	30,1	18,2	109,3
15:30	52,5	0,07	0,08	0,16	0,42	0,26	1,07	0,44	437,3	28,7	40,0	135,7	21,7	21,0	110,1
16:30	67,5	0,04	0,05	0,10	0,23	0,13	1,12	0,24	244,3	28,2	34,5	77,6	12,4	21,0	101,5
17:30	82,5	0,01	0,01	0,03	0,06	0,03	1,40	0,07	70,3	27,7	29,5	22,8	3,6	21,0	84,2
18:30	97,5	- 0,01	- 0,02				0,73			27,1	27,1	-		21,0	63,3
19:30	112,5	- 0,03	- 0,06				0,90			26,6	26,6	-		21,0	42,3
20:30	127,5	- 0,03	- 0,09				0,94			26,1	26,1	-		21,0	21,4
21:30	142,5	- 0,03	- 0,11				0,95			25,6	25,6	-		21,0	0,4

APÊNDICE 13 - IRRADIAÇÃO MÉDIA DIÁRIA – SETEMBRO

HS	ω (°)	rt	rd	Id (kWh/m ²)	I (kWh/m ²)	Ib (kWh/m ²)	Rb	It (kWh/m ²)	Gt (W/m ²)	Ta (°C)	Tc (°C)	Pfv (W)	Pm (kW)	Ec (kWh)	Ea (kWh)
5:30	- 97,5	- 0,01	- 0,02				0,95			22,3	22,3	-	-		-
6:30	- 82,5	0,01	0,02	0,04	0,07	0,04	1,06	0,08	76,5	21,7	23,7	25,4	4,1		4,1
7:30	- 67,5	0,04	0,05	0,11	0,26	0,15	1,02	0,26	259,1	23,0	29,7	83,9	13,4		17,5
8:30	- 52,5	0,07	0,08	0,17	0,46	0,28	1,01	0,46	460,9	24,4	36,3	145,2	23,2	21,0	19,8
9:30	- 37,5	0,10	0,10	0,23	0,65	0,42	1,01	0,65	652,4	25,7	42,6	200,1	32,0	21,0	30,8
10:30	- 22,5	0,13	0,12	0,26	0,80	0,53	1,01	0,80	802,2	27,1	47,8	240,6	38,5	21,0	48,4
11:30	- 7,5	0,14	0,13	0,28	0,88	0,60	1,01	0,88	884,5	28,4	51,3	261,2	41,8	21,0	69,2
12:30	7,5	0,14	0,13	0,28	0,88	0,60	1,01	0,88	884,5	29,8	52,6	259,6	41,5	21,0	89,8
13:30	22,5	0,13	0,12	0,26	0,80	0,53	1,01	0,80	802,2	31,1	51,9	236,3	37,8	21,0	106,7
14:30	37,5	0,10	0,10	0,23	0,65	0,42	1,01	0,65	652,4	30,5	47,4	196,0	31,4	18,2	119,8
15:30	52,5	0,07	0,08	0,17	0,46	0,28	1,01	0,46	460,9	30,0	41,9	141,8	22,7	21,0	121,6
16:30	67,5	0,04	0,05	0,11	0,26	0,15	1,02	0,26	259,1	29,4	36,1	81,7	13,1	21,0	113,7
17:30	82,5	0,01	0,02	0,04	0,07	0,04	1,06	0,08	76,5	28,9	30,9	24,7	3,9	21,0	96,7
18:30	97,5	- 0,01	- 0,02				0,95			28,3	28,3	-	-	21,0	75,7
19:30	112,5	- 0,03	- 0,05				0,99			27,8	27,8	-	-	21,0	54,8
20:30	127,5	- 0,03	- 0,08				0,99			27,2	27,2	-	-	21,0	33,8
21:30	142,5	- 0,03	- 0,11				0,99			26,7	26,7	-	-	21,0	12,9

APÊNDICE 14 - IRRADIAÇÃO MÉDIA DIÁRIA – OUTUBRO

HS	ω (°)	rt	rd	Id (kWh/m ²)	I (kWh/m ²)	Ib (kWh/m ²)	Rb	It (kWh/m ²)	Gt (W/m ²)	Ta (°C)	Tc (°C)	Pfv (W)	Pm (kW)	Ec (kWh)	Ea (kWh)
5:30	- 97,5	- 0,01	- 0,01				1,27			22,7	22,7	-	-		-
6:30	- 82,5	0,01	0,02	0,04	0,09	0,05	0,80	0,08	79,2	22,1	24,1	26,2	4,2		4,2
7:30	- 67,5	0,04	0,05	0,12	0,27	0,16	0,93	0,26	261,7	23,5	30,3	84,5	13,5		17,7
8:30	- 52,5	0,07	0,08	0,18	0,48	0,29	0,96	0,46	462,5	25,0	36,9	145,4	23,3	21,0	20,0
9:30	- 37,5	0,10	0,10	0,24	0,67	0,43	0,97	0,65	652,7	26,4	43,3	199,6	31,9	21,0	31,0
10:30	- 22,5	0,13	0,12	0,27	0,82	0,54	0,97	0,80	801,3	27,8	48,5	239,5	38,3	21,0	48,4
11:30	- 7,5	0,14	0,13	0,29	0,90	0,61	0,97	0,88	882,9	29,2	52,1	259,8	41,6	21,0	69,0
12:30	7,5	0,14	0,13	0,29	0,90	0,61	0,97	0,88	882,9	30,7	53,5	258,1	41,3	21,0	89,4
13:30	22,5	0,13	0,12	0,27	0,82	0,54	0,97	0,80	801,3	32,1	52,8	235,0	37,6	21,0	106,0
14:30	37,5	0,10	0,10	0,24	0,67	0,43	0,97	0,65	652,7	31,5	48,4	195,2	31,2	18,2	119,1
15:30	52,5	0,07	0,08	0,18	0,48	0,29	0,96	0,46	462,5	30,9	42,9	141,7	22,7	21,0	120,8
16:30	67,5	0,04	0,05	0,12	0,27	0,16	0,93	0,26	261,7	30,3	37,1	82,2	13,1	21,0	113,0
17:30	82,5	0,01	0,02	0,04	0,09	0,05	0,80	0,08	79,2	29,7	31,8	25,4	4,1	21,0	96,1
18:30	97,5	- 0,01	- 0,01				1,27			29,2	29,2	-	-	21,0	75,2
19:30	112,5	- 0,02	- 0,05				1,08			28,6	28,6	-	-	21,0	54,2
20:30	127,5	- 0,03	- 0,08				1,05			28,0	28,0	-	-	21,0	33,3
21:30	142,5	- 0,03	- 0,10				1,04			27,4	27,4	-	-	21,0	12,3

APÊNDICE 15 - IRRADIAÇÃO MÉDIA DIÁRIA – NOVEMBRO

HS	ω (°)	rt	rd	Id (kWh/m ²)	I (kWh/m ²)	Ib (kWh/m ²)	Rb	It (kWh/m ²)	Gt (W/m ²)	Ta (°C)	Tc (°C)	Pfv (W)	Pm (kW)	Ec (kWh)	Ea (kWh)
5:30	- 97,5	- 0,01	- 0,01				1,64			23,3	23,3	-	-		-
6:30	- 82,5	0,01	0,02	0,05	0,10	0,05	0,64	0,08	79,1	22,7	24,7	26,1	4,2		4,2
7:30	- 67,5	0,04	0,05	0,12	0,28	0,16	0,86	0,26	256,1	24,1	30,7	82,6	13,2		17,4
8:30	- 52,5	0,07	0,08	0,18	0,48	0,29	0,91	0,45	450,4	25,5	37,2	141,4	22,6	21,0	19,1
9:30	- 37,5	0,10	0,10	0,24	0,66	0,43	0,93	0,63	633,9	26,9	43,3	193,8	31,0	21,0	29,1
10:30	- 22,5	0,13	0,12	0,27	0,81	0,54	0,94	0,78	777,2	28,4	48,5	232,4	37,2	21,0	45,4
11:30	- 7,5	0,14	0,13	0,29	0,89	0,60	0,94	0,86	855,8	29,8	51,9	252,0	40,3	21,0	64,7
12:30	7,5	0,14	0,13	0,29	0,89	0,60	0,94	0,86	855,8	31,2	53,3	250,4	40,1	21,0	83,9
13:30	22,5	0,13	0,12	0,27	0,81	0,54	0,94	0,78	777,2	32,6	52,7	228,1	36,5	21,0	99,4
14:30	37,5	0,10	0,10	0,24	0,66	0,43	0,93	0,63	633,9	32,0	48,4	189,6	30,3	18,2	111,6
15:30	52,5	0,07	0,08	0,18	0,48	0,29	0,91	0,45	450,4	31,4	43,1	137,9	22,1	21,0	112,7
16:30	67,5	0,04	0,05	0,12	0,28	0,16	0,86	0,26	256,1	30,9	37,5	80,3	12,8	21,0	104,6
17:30	82,5	0,01	0,02	0,05	0,10	0,05	0,64	0,08	79,1	30,3	32,3	25,3	4,1	21,0	87,7
18:30	97,5	- 0,01	- 0,01				1,64			29,7	29,7	-	-	21,0	66,7
19:30	112,5	- 0,02	- 0,04				1,18			29,1	29,1	-	-	21,0	45,8
20:30	127,5	- 0,03	- 0,07				1,11			28,5	28,5	-	-	21,0	24,8
21:30	142,5	- 0,03	- 0,09				1,08			27,9	27,9	-	-	21,0	3,9

APÊNDICE 16 - IRRADIAÇÃO MÉDIA DIÁRIA - DEZEMBRO

HS	ω (°)	rt	rd	Id (kWh/m ²)	I (kWh/m ²)	Ib (kWh/m ²)	Rb	It (kWh/m ²)	Gt (W/m ²)	Ta (°C)	Tc (°C)	Pfv (W)	Pm (kW)	Ec (kWh)	Ea (kWh)
5:30	- 97,5	- 0,01	- 0,01				1,87			23,4	23,4	-	-		-
6:30	- 82,5	0,02	0,02	0,05	0,09	0,05	0,58	0,07	74,2	22,8	24,7	24,5	3,9		3,9
7:30	- 67,5	0,04	0,05	0,12	0,26	0,15	0,83	0,24	238,4	24,2	30,4	77,0	12,3		16,2
8:30	- 52,5	0,07	0,08	0,18	0,45	0,27	0,89	0,42	417,7	25,6	36,4	131,5	21,0	21,0	16,3
9:30	- 37,5	0,10	0,10	0,23	0,62	0,39	0,91	0,59	586,9	27,0	42,2	180,3	28,9	21,0	24,2
10:30	- 22,5	0,12	0,12	0,27	0,76	0,49	0,93	0,72	719,0	28,5	47,1	216,3	34,6	21,0	37,9
11:30	- 7,5	0,14	0,13	0,29	0,83	0,54	0,93	0,79	791,4	29,9	50,3	234,7	37,5	21,0	54,5
12:30	7,5	0,14	0,13	0,29	0,83	0,54	0,93	0,79	791,4	31,3	51,8	233,2	37,3	21,0	70,9
13:30	22,5	0,12	0,12	0,27	0,76	0,49	0,93	0,72	719,0	32,7	51,3	212,3	34,0	21,0	83,9
14:30	37,5	0,10	0,10	0,23	0,62	0,39	0,91	0,59	586,9	32,1	47,3	176,4	28,2	18,2	93,9
15:30	52,5	0,07	0,08	0,18	0,45	0,27	0,89	0,42	417,7	31,5	42,3	128,3	20,5	21,0	93,5
16:30	67,5	0,04	0,05	0,12	0,26	0,15	0,83	0,24	238,4	31,0	37,1	74,8	12,0	21,0	84,5
17:30	82,5	0,02	0,02	0,05	0,10	0,05	0,58	0,08	78,0	30,4	32,4	25,0	4,0	21,0	67,6
18:30	97,5	- 0,01	- 0,01				1,87			29,8	29,8	-	-	21,0	46,6
19:30	112,5	- 0,02	- 0,04				1,22			29,2	29,2	-	-	21,0	25,7
20:30	127,5	- 0,03	- 0,07				1,14			28,6	28,6	-	-	21,0	4,7

ANEXO 1 - ANEXO X PORTARIA 2914/2011 – MINISTÉRIO DA SAÚDE

ANEXO X

Tabela de padrão organoléptico de potabilidade

Parâmetro	CAS	Unidade	VMP ⁽¹⁾
Alumínio	7429-90-5	mg/L	0,2
Amônia (como NH ₃)	7664-41-7	mg/L	1,5
Cloreto	16887-00-6	mg/L	250
Cor Aparente ⁽²⁾		uH	15
1,2 diclorobenzeno	95-50-1	mg/L	0,01
1,4 diclorobenzeno	106-46-7	mg/L	0,03
Dureza total		mg/L	500
Etilbenzeno	100-41-4	mg/L	0,2
Ferro	7439-89-6	mg/L	0,3
Gosto e odor ⁽³⁾		Intensidade	6
Manganês	7439-96-5	mg/L	0,1
Monoclorobenzeno	108-90-7	mg/L	0,12
Sódio	7440-23-5	mg/L	200
Sólidos dissolvidos totais		mg/L	1000
Sulfato	14808-79-8	mg/L	250
Sulfeto de hidrogênio	7783-06-4	mg/L	0,1
Surfactantes (como LAS)		mg/L	0,5
Tolueno	108-88-3	mg/L	0,17
Turbidez ⁽⁴⁾		uT	5
Zinco	7440-66-6	mg/L	5
Xilenos	1330-20-7	mg/L	0,3

NOTAS:

- (1) Valor máximo permitido.
- (2) Unidade Hazen (mgPt-Co/L).
- (3) Intensidade máxima de percepção para qualquer característica de gosto e odor com exceção do cloro livre, nesse caso por ser uma característica desejável em água tratada.
- (4) Unidade de turbidez.

ANEXO 3 - ANÁLISE DE ÁGUA



CENTRAL HIDROLAB SERVIÇOS LTDA.

Por uma Água de Qualidade

Certificado nº 1544/2016

Termo de Responsabilidade nº 298/2016

Livro de Registro	01/2016	Página	180
Responsável pela coleta	GM Engenharia		
Material analisado	Água		
Data da coleta	07 de Julho de 2016	Hora da coleta	—
Entrada no laboratório	07 de Julho de 2016	Hora Entrada laboratório	16h35min
Proprietário	GM Engenharia		
Localidade	Comunidade Barrocas		
Município	Santana do Mato/RN		
Origem	Poço Tubular		
Observação	Frasco de coleta do Laboratório		

ANÁLISE FÍSICO – QUÍMICA DA ÁGUA

DETERMINAÇÃO	MÉTODO	LIMITE DE DETECÇÃO	LIMITE PERMISSÍVEL	VALOR ENCONTRADO
Temperatura, °C	Termométrica	-	ND	25
Cor, uH	Colorimetria	1,0	15	2,6
Turbidez, uT	Turbidimetria	0,1	5	0,5
pH	Potenciometria	-	6,0 a 9,5	7,8
Condutividade elétrica, $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ a 25°C	Condutivimetria	1,0	ND	1740
Sólidos totais a 105°C, mg/L	Gravimetria	-	ND	1113
Sólidos dissolvidos mg/L	Gravimetria	-	1000	1112
Sólidos em suspensão, mg/L	Gravimetria	-	ND	1,0
Alcalinidade total, mg/L CaCO_3	Titulometria	1,0	ND	135
Alcalinidade de hidróxido, mg/L CaCO_3	Titulometria	1,0	ND	0
Alcalinidade carbonato, mg/L CaCO_3	Titulometria	1,0	ND	21
Alcalinidade bicarbonato, mg/L CaCO_3	Titulometria	1,0	ND	114
Dureza total mg/L CaCO_3	Titulometria	1,0	500	426,8
Nitrogênio Ammoniacal, mg/L NH_3 -N	Colorimetria	0,01	1,5	0,06
Nitrato, mg/L NO_3^- -N	Colorimetria	0,01	1,0	0
Nitrato, mg/L NO_3^- -N	Colorimetria	0,01	10	6,0
Cálcio, mg/L Ca^{++}	Titulometria	1,0	ND	74,20
Sódio, mg/L Na^+	Fotometria de chama	0,01	200	170,89
Magnésio, mg/L Mg^{++}	Titulometria	1,0	ND	57,96
Potássio, mg/L K^+	Fotometria de chama	0,01	ND	11,31
Ferro total, mg/L ($\text{Fe}^{++} + \text{Fe}^{+++}$)	Colorimetria	0,01	0,3	0,15
Carbonato, mg/L CO_3^{--}	Titulometria	1,0	ND	12,60
Bicarbonato, mg/L HCO_3^-	Titulometria	1,0	ND	139,08
Sulfato, mg/L SO_4^{--}	Colorimetria	0,01	250	111,36
Cloreto, mg/L Cl^-	Titulometria	1,0	250	429,65

DBS: Os resultados emitidos aplicam-se exclusivamente à amostra analisada. O limite máximo permitido é regulamentado de acordo com a Portaria MS nº 2914 de 12/12/2011 (Federal).

ND: Limite não definido pela legislação em vigor

Proibida a reprodução parcial deste documento.

Emitido em Natal 11 de Julho de 2016.

Maria das Graças Santiago
CRBio 36.831 / 5 - D

CNPJ 05.980.399/0001-38 - Ins. Mun. 152.398-8

Rua Kerginaldo Cavalcante, 279 - Nova Descoberta - CEP 59075-240 - Natal/RN

Fone: (84) 3231-8464 - Fax: (84) 3234-4411 - Cel: (84) 8812-4602

E-mail: hidrolab@superig.com.br - Site: www.centralhidrolab.com.br

ANEXO 4 - FLUXOGRAMA DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUA

