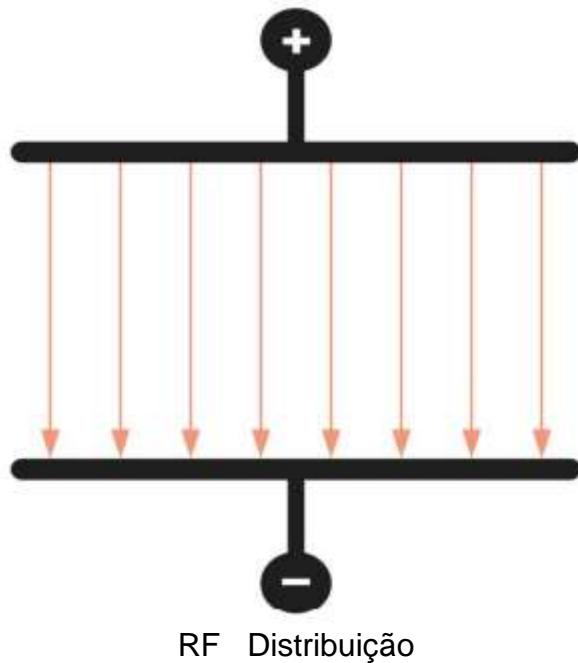


## **QUAL A RAZÃO DE SE USAR RÁDIO FREQUÊNCIA (RF) PARA A SECAGEM DO LODO DE ETE?**

A água é mais receptiva para receber as RF do que outros dielétricos.  
E o lodo de esgoto sai da centrifuga rico em umidade (água).

Em secagem de RF pode utilizar grandes áreas para secagem. Além de uma uniforme distribuição de energia no material.



Em secagem de RF há aplicação direta de energia sobre o material a ser secado.

Não há resíduos no material secado na geração de calor.

Menor espaço em equipamentos na secagem por RF.

Secagem por RF é 2 a 20 vezes mais rápido do que a secagem convencional.

Secagem por RF é considerado um processo amigável ecologicamente.

Custo de manutenção baixo em relação a outros tipos de secagem.

## **OS BENEFÍCIOS DA SECAGEM POR RF**

### Vantagens

Controle preciso da umidade do material a ser secado;

Redução do uso de energia;

Redução de espaço para instalação da Planta de Secagem;

Redução de Mão de Obra e uso de equipamentos por ser fácil automação;  
secagem rápida;

Não há contaminação do produto final com produtos da combustão ideal para área de alimentos.

No caso de alimentos a superfície não superaquece, há produção de danos mínimos de calor e sem escurecimento da superfície.

A taxa de secagem é 10 vezes mais rápida do que um forno convencional.

### As Desvantagens

Risco de arco elétrico entre as placas do Capacitor do Forno. Risco que pode ser reduzido dimensionando corretamente o capacitor e reduzindo o gap de ar entre o produto e a placa do capacitor. .

Uso maior de Engenharia.

Banda de frequência estreita.

## CÁLCULO DA TEMPERATURA EM RF

O efeito das propriedades do dielétrico em secagem por RF, o efeito da permissividade incrementa a temperatura na secagem por RF.

$$\Delta T = \frac{2\pi t f \epsilon_0 \epsilon'_r \tan \delta V^2}{C_p \rho}$$

Onde T é o incremento da temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ));

t, Taxa de tempo de subida em (s);

$\epsilon_0$ , é a constante dielétrica no vácuo igual a  $8.85419 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ ;

f é a frequência;

$\epsilon'_r$  é a permissividade do material a ser secado;

$\tan \delta$ , é o anglo de perda do dielétrico, também é ado por  $\epsilon''_r$ ;

V, é a tensão/distancia entre as placas, (V/cm);

$C_p$  é o calor específico do material a ser secado em ( $\text{J/kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$ );

e  $\rho$ , densidade do material a ser secado em ( $\text{kg/m}^3$ ).

Para um sucesso em secagem por RF o fator de perda deverá estar entre  $0,01 < \epsilon'' < 1$  (Orfeuil, 1987).

Observa-se que o aumento de temperatura está diretamente associado com a frequência. Isto é quanto maior a frequência maior o aumento da temperatura.

**TABLE 3**  
**Dielectric Constant and Dielectric Loss Factor of Selected Foods.\***

Material	Dielectric Constant ( $\epsilon'$ ) (F/m)	Dielectric Loss ( $\epsilon''$ ) (F/m)	Frequency MHz	Source
Polystyrene	2.35	0.001	10	Orfeuil, 1987
Water-based glue	5	0.25	10	Orfeuil, 1987
Water ( $25^{\circ}\text{C}$ )	78	0.36	10	Orfeuil, 1987
Salt water	80	100	10	Orfeuil, 1987
Codfish ( $10^{\circ}\text{C}$ )	95.2	1085	10	Bengtsson et al., 1963
Beef fat ( $-20,0^{\circ}\text{C}$ )	3.5;12		2	Ede et al., 1951
Beef fat ( $-20,0,20^{\circ}\text{C}$ )	3.0; 7;7		20	Ede et al., 1951
Dried cream milk ( $20^{\circ}\text{C}$ )	2.4		2	Ede et al., 1951

## Taxa de Secagem por unidade de Volume.(6)

A taxa por unidade de volume (Watt/m<sup>3</sup>) é dada por:

$$2\pi f\epsilon_0\epsilon_r'' E^2$$

Onde E é a tensão de Pico (V/m)  
 $\epsilon_0$  é a constante dielétrica do Vácuo  $8,85 \times 10^{-12}$  F/m.  
f é a frequência utilizada para o equipamento de secagem em Hz  
e  $\epsilon''_r$  é a fator de perda do dielétrico ( $\tan\delta$ ).

A mais importante propriedade para todas as aplicações da técnica de RF é sua habilidade de aumentar a temperatura de um volume de um material Sem a limitação de uma máxima temperatura.

Na prática a limitação da penetração máxima de espessura a ser processada uniformemente é dado pela equação abaixo:

$$\delta = \frac{(2)^{1/2}c}{4\pi} \sqrt{f \left\{ \epsilon_r' \left[ \left( 1 + \left( \frac{\epsilon_r''}{\epsilon_r'} \right)^2 \right)^{1/2} - 1 \right] \right\}^{1/2}}$$

Onde  $\epsilon'_r$  é a constante dielétrica do material  
C é a velocidade da luz no espaço livre e  
 $(2)^{1/2}c/4\pi = 3,4 \times 10^7$ .  
 $\epsilon''_r$  é a fator de perda do dielétrico ( $\tan\delta$ ).

## ENERGIA NECESSÁRIA EM SECAGEM POR RF.

O material é passado entre os eletródos e uma tensão em RF é aplicada através dos eletródos. Isto altera a orientação de dipolos de água de uma forma semelhante às microondas e resulta em um aquecimento muito rápido. Aquecimento de rádio frequência permite que uma maior concentração da energia calorífica, a seletividade no local de aquecimento e precisão no controle da duração do aquecimento. No entanto, a espessura do material a ser secado restringe-se pela distância entre as placas do capacitor, que é uma limitação importante do método. Um método simples para calcular a quantidade de energia de RF necessários para um determinado processo é dado por:

$$E = \frac{m(\theta_1 - \theta_2)C_p}{863}$$

Onde E é a energia necessária para aquecimento do material.

$m$  é a massa do material em kg.  
 $\Theta_1$  é a temperatura final do material em °C.  
 $\Theta_2$  é a temperatura inicial do material em °C.  
 $C_p$  calor específico do material,. (kJ/kg/K)  
(courtesy of Strayfield International).

$$Q = \varepsilon \sigma A (T_1^4 - T_2^4)$$

Onde

$Q$  = Total de energia transferida para o material em (Watts),  
 $A$  = Área do material a ser secado em ( $m^2$  ),  
 $\sigma$  = Constante de Stefan-Boltzmann =  $5.67 \times 10^{-8}$  Watts  $m^{-2} K^{-4}$ ,  
 $T_1$  = Temperatura final do material em K (Kelvin) e  
 $T_2$  = Temperatura inicial do material em K (Kelvin),  
 $\varepsilon$  = emissividade do material (um número entre 0 e 1) veja tabela abaixo.

**Table 18.3 Approximate emissivities of materials in food processing**

Material	Emissivity
Burnt toast	1.00
Dough	0.85
Water	0.955
Ice	0.97
Lean beef	0.74
Beef fat	0.78
White paper	0.9
Painted metal or wood	0.9
Unpolished metal	0.7–0.25
Polished metal	< 0.05

From Earle (1983) and Lewis (1990).

Observa-se, na tabela acima, que, quanto mais escuro for o corpo sua emissividade tem o valor de 1.

Algumas considerações deverão ser consideradas num sistema de secagem por RF.

1 kW deverá ser adicionado para cada 1,4 kg de água a ser evaporada por hora numa aplicação de secagem por RF.

Um adicional de 10 a 20% de energia é requerido e adicionado a potencia de secagem por RF dependendo da superfície da área e do volume do material a ser secado.

O equipamento de RF deverá ter um rendimento em energia acima de 65%. Isso depende do aplicador. Aplicadores utilizando MOSFETS de potencia e osciladores classe F poderão aumentar a eficiência do aplicador de RF.

Se o produto deverá ser secado com 4% de humidade, isto é, normalmente a humidade "livre" que é facilmente removido a 100°C. No entanto, para menores teores de umidade final, é necessário para remover a umidade que está 'ligada' na estrutura celular do produto e temperaturas mais elevadas são necessárias.

Tipicamente, uma temperatura de 102-105°C é necessário para atingir 3% de umidade, para 2% de umidade a temperatura ficará entre 105-110°C e 116°C para 1,5% de umidade. Quando os produtos são reduzidos para os níveis muito baixos de umidade, há uma probabilidade de haver alterações para a cor de produtos.

No caso do lodo de Esgoto a sua umidade final será de 15 a 10%.

Isso informa que a necessidade de temperatura será menor e consequentemente o valor da tensão aplicada será menor.

Para o lodo não terá problema se houver alterações de cor.

Quanto mais baixo a umidade melhor.

Teremos que fazer os testes de laboratório para dimensionar o forno e a tensão aplicada para reduzir a quantidade de energia a ser aplicada no processo de secagem.

#### **Exemplo:**

A superfície de uma massa de pão mede 12 cm de largura e 20 cm de comprimento. Assumimos que a emissividade da massa de pão é de 0,85 e que o pão deverá ser assado a 100°C.

Deverão ser secados 150 pães numa batelada e depois 120 pães noutra. Considerando um forno de 8 kW com 90% de eficiência.

#### **Solução:**

Área da superfície da massa de pão para a primeira batelada

$$A=150.(0,2 \times 0,12) = 3,6m^2.$$

$$Q=3,6.0,85.(5,73.10^{-8}).(483^4-373^4) = 6145,6 W$$

Segunda batelada

$$\text{Área} = 120.(0,2.0,12) = 2,88m^2$$

$$Q=2,88.0,85.(5,73.10^{-8}).(483^4-373^4). = 4916W.$$

$$\text{Eficiência} = \frac{6145,6}{(8000 * 0,9)} = 0,85$$

Onde 8000 é a potencia do forno e 90% (0,9) é sua eficiência.

Eficiência na primeira batelada é de 85% e na segunda batelada é de 68%.

## **SECAGEM POR RÁDIO-FREQUÊNCIA COM UTILIZAÇÃO DE VÁCUO (3)**

A Tecnologia de secagem RFV constitui uma combinação dos dois métodos especiais: aquecimento por alta frequência e a secagem em vácuo, onde o ponto de ebulação da água é reduzida com a diminuição da pressão.

A intensidade do aquecimento depende diretamente do teor de água do material a ser secado e o campo eléctrico de umidade, enquanto que o movimento de umidade depende da permeabilidade do material e o gradiente de pressão interna. A RF, a profundidade de penetração influencia as

dimensões do campo eléctrico que é da ordem dos metros e assim, tornar possível o aquecimento do material.

Os primeiros secadores de RFV industriais foram construídos pela Academia de Ciências da Rússia em Moscou, aparentemente, na década de 1960. Alguns modelos tiveram dimensões de 8m comprimentos, alturas de 3m e larguras de 3m que acomodaram cerca de 10m<sup>3</sup> de, no caso, madeira serrada. O gerador de RF localizado na parte superior da câmara de vácuo, trabalhando com uma frequência de 13,56 e usando cerca de 44kW, poderia produzir um máximo de 10kV Hf-corrente entre os eletrodos. Condensação do vapor de água interna foi possível em tubos de refrigeração. Seu uso principal era para a secagem de estoque de móveis de madeira de espécies Russas (Djakonov e Gorjaev, 1981).

Nos EUA, um pequeno secador de RFV foi construído e patenteado pela Koppelman (1976). Em seu cilindro, madeira serrada foi seca entre dois eletrodos com vapor de água sendo condensado originalmente nas paredes do cilindro de refrigeração, mais tarde, em um condensador exterior. As vantagens da alta qualidade do produto e tempos de secagem curtos foram comprovados experimentalmente por Harris et al. (1984) e Trofatter et al. (1986).

#### CARACTERISTICAS DE UM SECADOR RF-VACUM (4)

Operação	Batelada ou continuo
Capacidade da câmara m3	5 a 75
Frequência MHz	6,78 para madeira e 40,68 para alimentos
Potencia KW	20 a 300
Densidade de Potencia W/m3	5
Vácuo (Pa)	Abaixo de 3300
Consumo de energia kWh/kg água	1 material higroscópico 0,7 para água livre

#### BIBLIOGRAFIA

- 1-Using Renewal Energy from Radio Frequency Heat Treatment Combined with Conventional Drying in Green Malt Production.  
Karl Eichhorn[1], Suchada Vearasilp[2], Dieter von Hörsten[3],  
Elke Pawelzik[4] and Wolfgang Lücke [3]  
[1] PhD. Student Georg-August University Göttingen, Department of Crop Science, Section Agricultural Engineering, Germany  
[2] Postharvest Technology Research Institute/Postharvest Technology Innovation Center, Chiang Mai University, Thailand  
[3] Georg-August University Göttingen, Department of Crop Science, Section Agricultural Engineering, Germany  
[4] Georg-August University Göttingen, Department of Crop Science, Section Quality of Plant Products, Germany

- 2- RADIO FREQUENCY/VACUUM DRYING OF B.C. SOFTWOODS; PRELIMINARY EXPERIMENTS Stavros Avramidis, Ph.D. Robert L.Zwick,

P.Eng. Asst. Professor Manager, Lumber Technical Services Univ. of British Columbia Council of Forest Industries Vancouver, B.C. Vancouver, B.C.

### 3- HIGH-FREQUENCY ELECTRIC CURRENT FOR DRYING OF WOOD – HISTORICAL PERSPECTIVES

Helmuth Resch - University of Natural Resources, Vienna, Austria

### 4- Handbook of Industrial Drying, Third Edition

Editado por Arun S. Mujumdar

5- Radio Frequency Heating of Foods: Principles, Applications and Related Properties—A Review Punidades Piyasena,<sup>1\*</sup> Chantal Dussault,<sup>1</sup> Tatiana Koutchma,<sup>2</sup> H. S. Ramaswamy,<sup>2</sup> and G. B. Awuah <sup>2</sup>

### 6- The Efficient Use of Energy

Editado por I.G.C. Dryden

### 7- D. Heat processing by direct and radiated energy

## PROJETO

O lodo sai da centrifuga em forma de pasta com uma unidade de 80%.

Após a centrifuga é que será utilizado para a secagem.

O lodo deverá sair da centrifuga e cair na esteira rolante.

Como ele estará pesado por causa da água, teremos que fazer com que ele pouse suavemente na esteira.

Uma solução será construir uma esteira rolante de metal inicial para que o lodo caia nesta esteira e depois, desta esteira, ele passar para a esteira que circulará dentro do forno de RF.

Ou então utilizar uma pingadeira do tipo utilizada em alimentos para dimensionar o volume a ser colocado na esteira rolante.

Teremos que colocar dentro do forno de RF, em média, no máximo 1 (um) kg de lodo por batelada.

Os primeiros fornos terão que ter um máximo de energia para diminuir o tamanho corpo e os próximos fornos terão que ter potencia menores com a diminuição do tamanho do lodo e sua secagem.

Haverá também velocidades variáveis para cada passo do forno.

No início velocidades menores e assim que o lodo for secando velocidades maiores.

Com isso equacionamos o consumo de energia para a secagem do lodo.

Temos que reduzir o máximo o consumo de energia na secagem do forno.

O sistema será automatizado por controle de CLP para melhorar a automação da secagem.

Após a secagem o lodo deverá ser moído grosseiramente para ser estocado em silo.

## CÁLCULO PARA O LODO.

Considerando o lodo como madeira com emissividade  $\epsilon = 0,9$ . Dimensões do lodo 20 cm por 20 cm, com altura não maior do que 10 cm. Para uma temperatura final 100 °C. E temperatura inicial 25° C.

Solução:

Área da superfície da massa do lodo será;

$$A = 1.(0,2 \times 0,2) = 0,04 \text{ m}^2$$

$$Q = 0,04 \cdot 0,9 \cdot (5,73 \cdot 10^{-8}) \cdot (373^4 - 298^4) = 23,66 \text{ W} + 10\% = 26,02 \text{ W}$$

Considerando que temos 2850 kg dia de lodo para secar, obtemos: 74,179 kW/dia, máximo, para secagem do lodo.

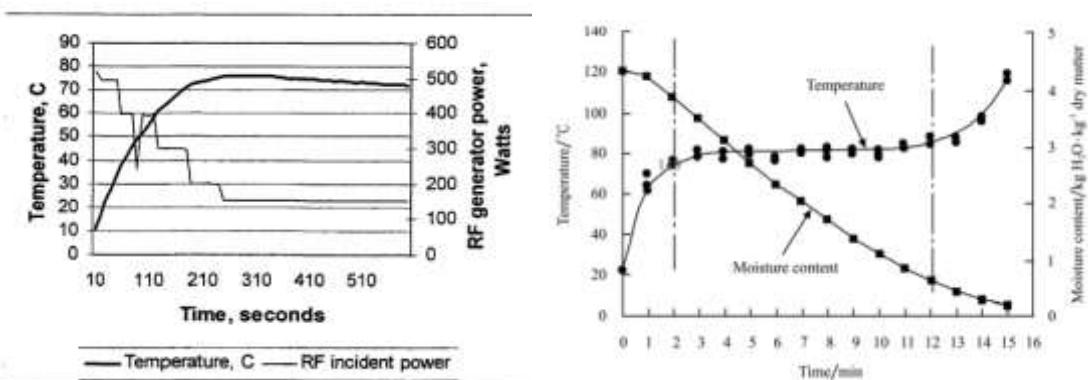
Considerando uma batelada de secagem de (20 x 20 x 10 cm) do lodo em 5 minutos, necessitaremos de 57 horas para secar todo o lodo do dia. Mais de 1 dia.

Nestas circunstâncias teremos que diminuir o tempo para 2 minutos.

Assim conseguiremos secar todo o lodo gerado no dia em 23 horas.

Ou então aumentar a potência inicial do forno e a massa a ser secada com redução subsequente dos outros fornos seguintes.

Para as bateladas seguintes o consumo de energia cairá exponencialmente. Somente com testes, em laboratório, podemos definir o processo de secagem do lodo com uma umidade de 10%, a queda de energia e a equação exponencial da energia em função do tempo conforme gráfico abaixo..



Nestas circunstâncias o forno será de pequeno tamanho, custo baixo, consumo de energia baixo, pois os motores para movimentação do lodo será de baixa potência, em torno de 1/2 CV, ou até menor.

O equipamento de moagem do lodo poderá ser um desintegrador tipo Nogueira E um silo metálico para acondicionar o lodo seco moído.

Outro equipamento necessário será um lavador de gases para lavagem dos gases que sairá do secador.

Deverá também ser criado um processo de liquefação de gordura por meio de calor de indução de RF.

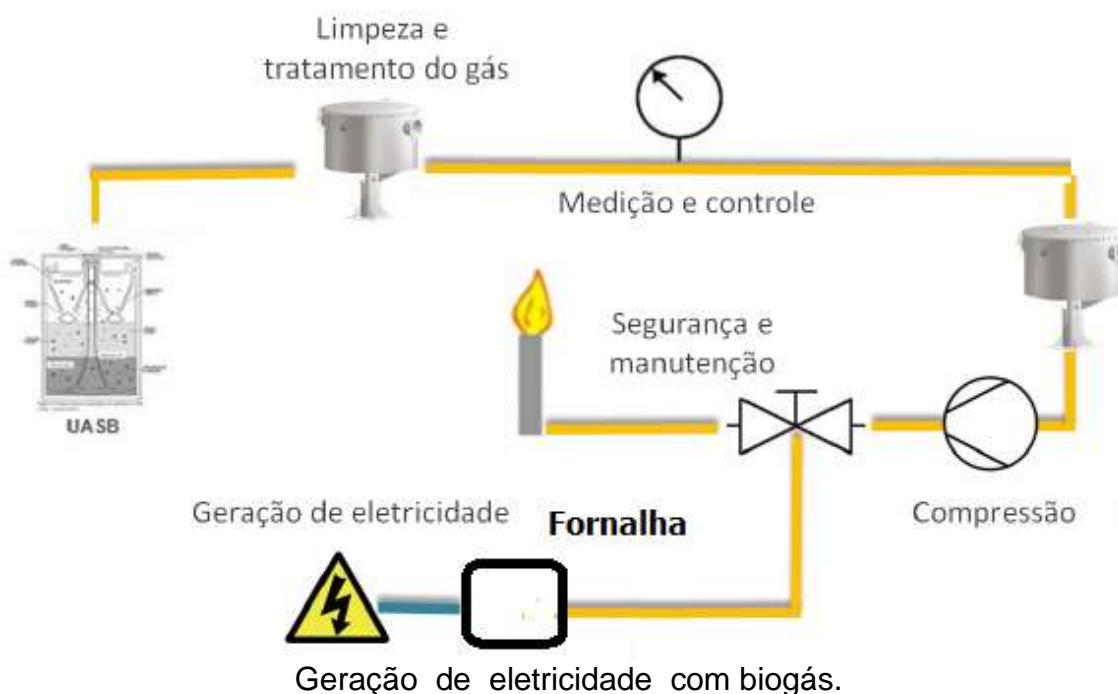
A geração de calor em metais por RF também é utilizada a mesma tecnologia.

Neste caso a bobina é quem gera a energia para um recipiente de metal e neste recipiente de metal será colocado a gordura sólida para liquefazer.

## **GERAÇÃO DE ENERGIA COM OS RESÍDUOS DO TRATAMENTO DE ESGOTO.**

De acordo com Victor Bustani Valente na sua tese ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA E ESCALA MÍNIMA DE USO DO BIOGÁS DE REATORES ANAERÓBIOS EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO NO BRASIL, tem alguns parâmetros os quais será utilizado para cálculo de geração de energia.

### **1-Uso de Biogás para geração de energia.**



Sistema de limpeza de condensado de Gás.

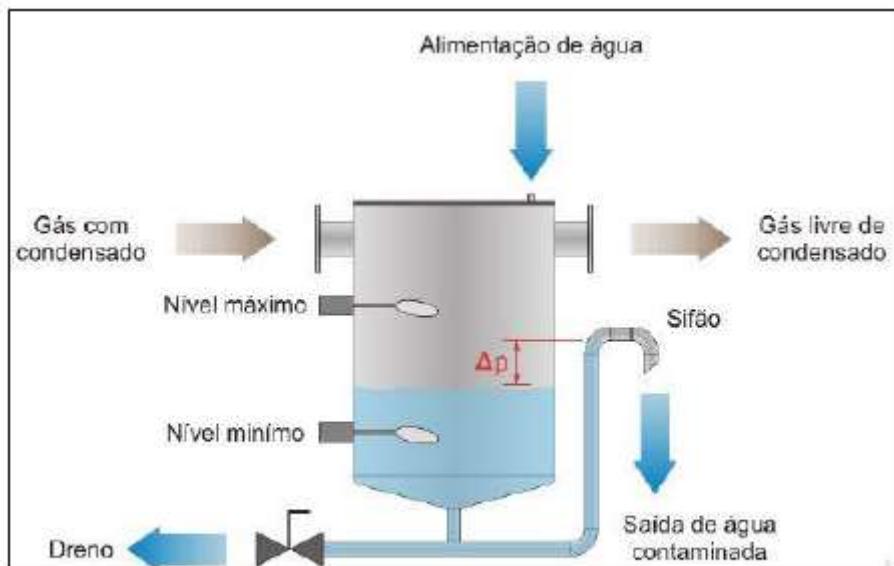


Figura 42: Tanque de drenagem primário.

Fonte: (ALBRECHT, 2014).

De acordo com Victor Bustani Valente, há uma grande variação na concentração de sulfeto de hidrogênio no biogás oriundo da digestão anaeróbica de esgotos domésticos. Além disso, as medições realizadas até então pelo Projeto Probiogás (2015) apontam para uma concentração média de aproximadamente 2.400 ppm, com valores oscilando entre 360 e 5.300 ppm. Portanto, considerou-se anteriormente ao sistema de carvão ativado, um sistema de dessulfurização simples, em que a eliminação do H<sub>2</sub>S se dá pela ligação sulfídrica com o ferro metálico (ou palha de aço), que compõe o material de enchimento deste reator conforme abaixo:

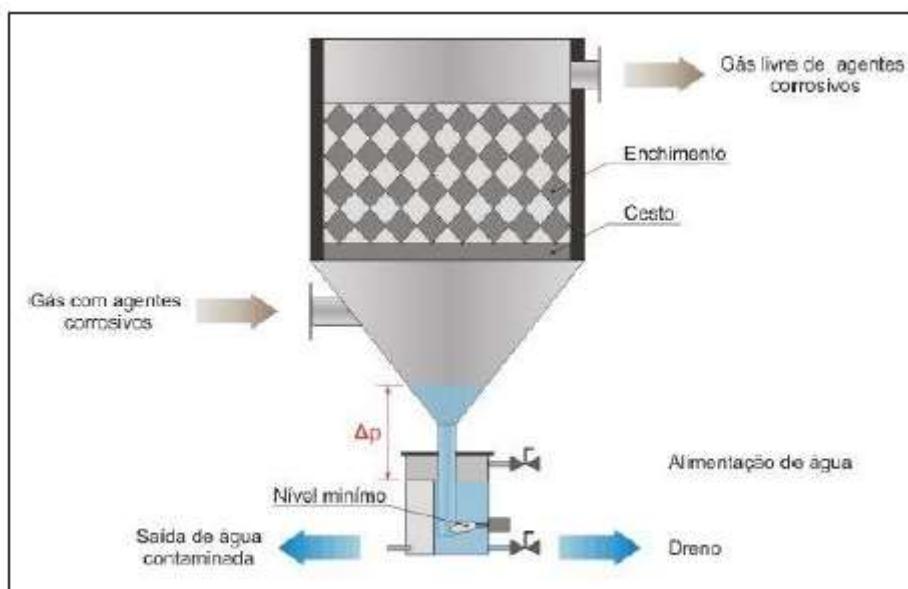


Figura 45: Dessulfurizador simples com ferro metálico.

Normalmente, esse processo de dessulfurização pode ser aplicado a concentrações de gás bruto de até 6.000 ppm de H<sub>2</sub>S. Com dimensionamento

adequado, o processo permite atingir baixas concentrações de saída abaixo de 20 ppm.

O biogás, agora com uma concentração adequada de siloxanos e sulfeto de hidrogênio, passa ainda por um vaso de desidratação que contém um trocador de calor de placas (Figura 46), onde o biogás é refrigerado e condensa a umidade ainda presente no gás, conforme figura abaixo:

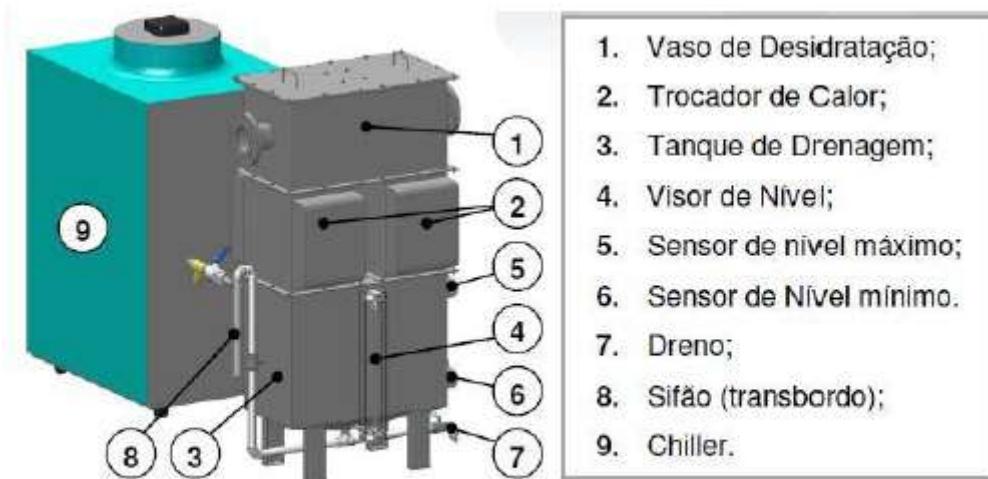


Figura 46: Vaso de desidratação com trocador de calor de placas

Fonte: (ALBRECHT, 2014).

Na sequência o gás passa por uma unidade de compressão (Figura abaixo), com objetivo de garantir uma vazão adequada de entrada no sistema de cogeração. Todo o processo é automatizado e ocorre conforme as especificações dos motogeradores, sem interferência do operador.

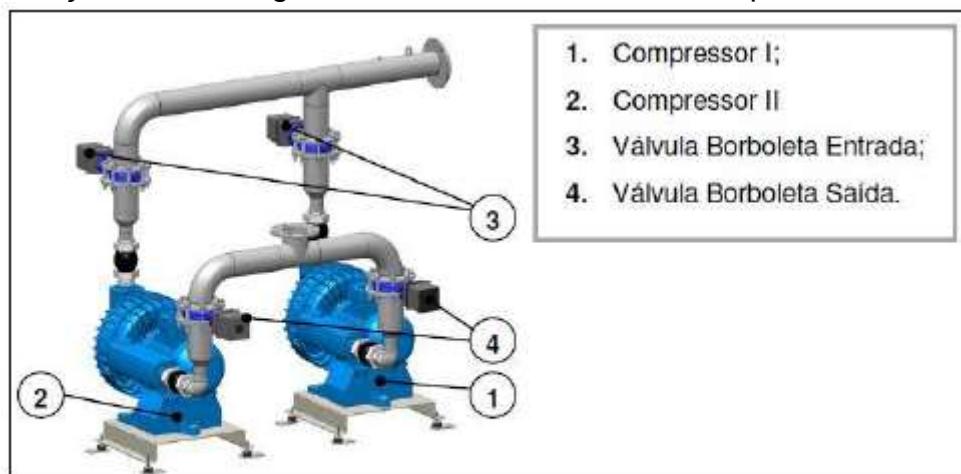


Figura 47: Compressores do tipo radial centrífugo duplo.

Fonte: (ALBRECHT, 2014).

O hidrogênio e o oxigênio serão injetados logo após a unidade de compressão para que o gás metano arraste o hidrogênio e o oxigênio.

A Fornalha queimadora com a caldeira para geração de vapor será adotada para o fornecimento do vapor para geração de energia elétrica..

Energia disponível no biogás produzido diariamente

$$E_{biogas} = V_{biogas} \times PCI_{biogas}$$

Onde:

Energia contida no biogás (kWh/dia)

Poder Calorífico inferior do biogás (kWh/m<sup>3</sup>) - com 75% CH<sub>4</sub>

Ou

### Cálculo do Potencial Elétrico do Biogás

$$PE = \frac{Q_{biogás} \times PCI_{biogás} \times n_{gerador} \times 4,1868}{86.400}$$

Sendo:

PE = potência elétrica (KW)

Q<sub>biogás</sub> = vazão (produção média) do biogás (m<sup>3</sup>/dia)

PCI<sub>biogás</sub> = poder calorífico do biogás (kcal/m<sup>3</sup>)

n<sub>gerador</sub> = 30%, baseado no valor médio das tecnologias de conversão

4,1868 = fator de conversão de “kcal” (quilo caloria) para “kJ” (quilo joule), onde 1 KJ/s corresponde a 1 MW

PE = (682m<sup>3</sup>/dia \* 6.600 Kcal/Nm<sup>3</sup> \* 4,1868)/86.400 = 212,12 kW/dia para o biogás.

## 2-Uso do Lodo Seco para Geração de energia.

Volume do lodo em função da secagem

Volume relativo do lodo após secagem							
Umidade no lodo (%)	80	70	60	50	40	30	20
Volume relativo	1,00	0,67	0,50	0,40	0,34	0,29	0,25

Fonte: Victor Bustani Valente.

Na secagem do lodo haverá formação de gases. Esses gases residuais contendo as partículas menores de 40 micrônios são conduzidos para um lavador de gases (Figura abaixo), onde este material particulado fica retido. Este equipamento visa atender os padrões vigentes de emissões de particulados.

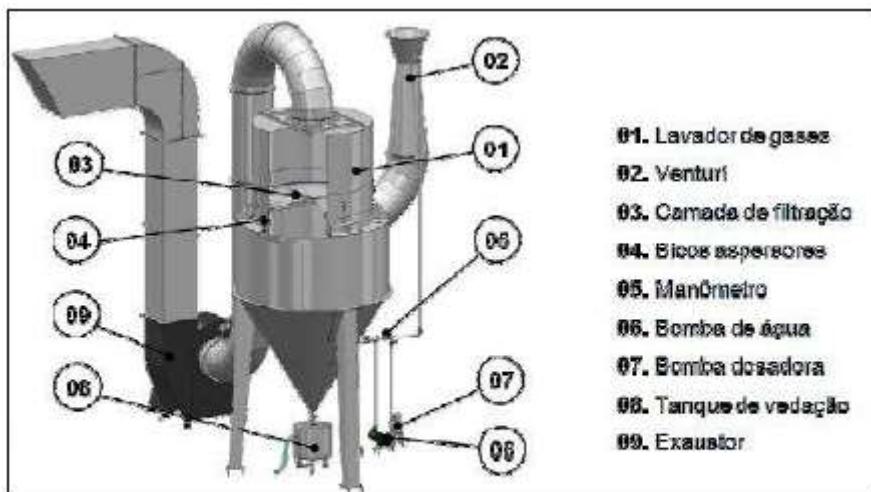


Figura 55: Lavador de gases tipo hidrociclone.

Fonte: (ALBRECHT, 2014).



Figura 59: Lodo pós centrífuga (15 a 30% ST)

Fonte: (COPASA, 2015).



Figura 60: Lodo após a secagem (90% ST)

Fonte: (LOBATO, 2011)

O sistema de descarga de sólidos é feito por meio de aspiração direta dos sólidos. Esses sólidos passarão pelo desintegrador e será conduzido do secador até o Silo.

Pode se utilizar um parafuso tipo helicoidal para transporte de massa. A saída do silo para a queima também poderá ser utilizado um parafuso tipo helicoidal.

Com o lodo seco com umidade a 10% tem um PCI de 2.500 kcal/kg obtemos

$$E = \text{Volume do lodo} \times \text{PCI do lodo}$$

$$2850 \text{ kg/dia} \times 22\% = 627 \text{ KG seco.}$$

$$E = 627 * 2500 * 4,1868)/86.400 = 75,958 \text{ kW/dia}$$

Observa-se que a quantidade de energia gerada pelo lodo é próximo a energia utilizada para sua secagem.

O que justifica utilizar o lodo é o custo de transporte do lodo para os aterros sanitários.

No caso da unidade de Macaé esse custo é de 800 reais por tonelada com 20% de umidade.

Praticamente teria que desembolsar por dia 800,00 reais para descartar o lodo seco, que dá um montante, em torno de 288 mil reais por ano.

Apesar de que o lodo seco pode ser comercializado para a agricultura. Mas mesmo assim num raio de 300 km, por causa do custo do frete.

Portanto de Macaé até Campos poderia ser utilizado este lodo seco e esterilizado na produção de cana e coco.

Em outro local onde só tem uma saída atual que é o aterro sanitário pode-se levar para o aterro e finalmente a queima para geração de energia.

### **3-Uso do Óleo de Soja para Geração de energia.**

PCI óleo de soja 8125 kcal/kg.

Recolhe-se 1530 kg/mês de gordura. Por dia recolhe-se 51 kg

Densidade do óleo de soja = 891 kg/m3.

Volume do óleo de soja = 0,057m3.

$$E = (0,057m^3 * 8125 * 4,1868)/86.400 = 0,0222 \text{ kW/dia.}$$

Para liquefazer este óleo será usado energia elétrica na forma de energia indutiva, mas o uso de energia de RF para liquefazer este óleo será baixo. RF indutivo tem custo de uso de energia muito baixo.

Caso haja um programa efetivo de recolhimento de óleo no município este valor de energia poderá ser muito maior, pois o recolhimento do óleo será líquido e não precisa liquefazer.

Além de melhorar a desempenho das ETE's, pois o índice de gordura na ETE será baixo.

### **4-Uso da água para Geração de energia.**

Um dos maiores resíduos do tratamento de Esgotos é a água de reuso.

Na nossa unidade obtém-se 103.680 m3/mês de água de reuso tratada com luz ultravioleta.

Isso nos fornece 3.456.000 litros de água por dia.

Considerando que 250 ml de água, transformada em Hidrogênio e Oxigênio gera-se 1 kW de energia, essa água geraria, teoricamente, 13.824.000 kW de energia.

A água contém mais potência que a gasolina simplesmente porque ela contém mais peso de hidrogênio por volume que a gasolina ou diesel.

Um certo volume de água, 20% é hidrogênio.

Enquanto que a gasolina é de apenas 11,7% de hidrogênio.

1 galão de água pesa 8,345 libras.

8,345 libras x 20% = 1,669 libras de hidrogênio por galão de água (0,757 kg).

1 galão de gasolina pesa 5,61 libras

5,61 libras x 11,7% = 0,656 libras de hidrogênio por galão de gasolina (0,297 kg)..

1 litro de água produz 1860 litros de gás HHO = 1,86 m3.

Poder calorífico inferior do Hidrogênio: 28.642 kcal/kg ou 33,29 kWh/kg

O hidrogênio da molécula da gasolina é o combustível que está queimando e tracionando o veículo.

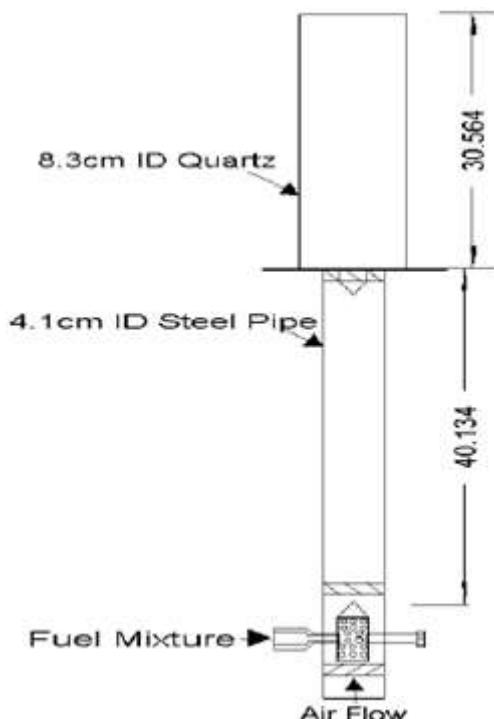
O carbono não é necessário, ele é um subproduto, desnecessário, indo para a atmosfera.

O uso de hidrogênio misturado com metano para queima, além de aumentar o poder calorífico do processo estabiliza a chama.

De acordo com texto, COMBUSTION OF HYDROGEN-ENRICHED METHANE IN A LEAN PREMIXED SWIRL BURNER. R. W. Schefer - Combustion Research Facility-Sandia National Laboratories - Livermore, CA 94551-09, o hidrogênio misturado com combustíveis hidrocarbonetos tradicionais melhora significativamente a estabilidade da chama durante a combustão magra e permite que a combustão estável às baixas temperaturas necessárias para minimizar a produção de NOx.

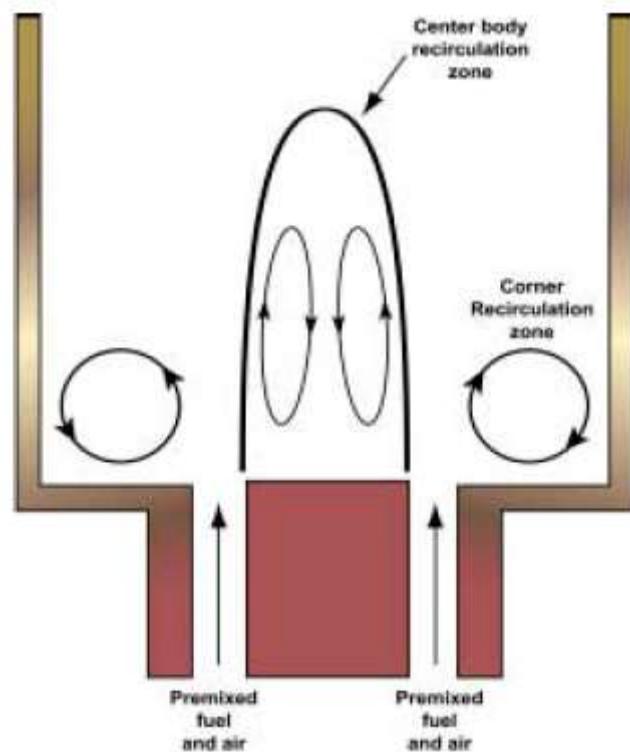
O uso de mistura de combustíveis com hidrogênio fornece tanto uma solução para a necessidade imediata de uma redução de NOx, e também fornece uma transição estratégica para um sistema de energia livre de carbono no futuro.

As alterações na composição do combustível, em particular a adição de hidrogênio em combustíveis, afetam os processos físicos e químicos que ocorrem na chama. Estas mudanças afetam a estabilidade da chama, a acústica do combustor, as emissões de poluentes, eficiência do combustor e outras grandezas importantes.



Foi utilizado o equipamento do desenho acima para testar a queima de mistura de hidrogênio com Metano.

Um esquemático do aparelho de teste, incluindo o pré-misturador e câmara de combustão, é mostrado acima. O diâmetro interior do tubo pré-misturador é de 4,1 cm e o diâmetro exterior do corpo do centro de combustível é de 2,5 cm. A chama é estabilizada em um corpo central com sete hélices Swirler de 45 graus, localizado na extremidade da câmara de mistura. A câmara de combustão é um tubo de quartzo 30,5 centímetros de comprimento de 8,3 cm de diâmetro interno. O ar de combustão é fornecido por um compressor de ar e dosado a montante do queimador utilizando medidores de caudal de massa. O ar é seco e filtrado para remover as partículas por meio de filtros adequados em-linha. Os combustíveis, metano e hidrogênio, são medidos utilizando medidores de fluxo de massa.



Hélices Swirler de 45º

Definições:

TaD = The adiabatic flame temperature.

TeF = Effective Gas Temperature.

O estudo referiu-se na adição de hidrogênio na estabilidade da chama em condições de operação enxuta. Para caracterizar o efeito da adição de hidrogênio na estabilidade queimador magro, várias quantidades de hidrogênio foram adicionados à mistura de metano / ar. As quantidades misturadas com o metano foram 13,8%, 27,6% e 41,4% de diluição de hidrogênio.

Por exemplo, a uma velocidade de 10 m / s, a chama de metano sopra para fora em TeF = 1170C. A adição de 41,4% de hidrogênio estende o regime chama estável para TaD = 1058C. Esta mudança representa uma redução de 10,6% em TaD no limite de estabilidade da chama magra.

O melhor resultado foi para a adição de hidrogênio entre 0 e 13,8% a uma velocidade de 14 m/s que correspondeu a uma TaD de 1250°C.

Baseado no estudo vamos calcular o volume de hidrogênio para ser misturado no metano.

Volume de metano dia 682 m<sup>3</sup>/dia, 13% será 88,6 m<sup>3</sup>/dia de hidrogênio. Sabendo que 1 litro de água produz 1,86 m<sup>3</sup> de hidrogênio necessitamos teoricamente de 47,66 litros de água/dia.

Energia gerada pelo hidrogênio:

$$E = (88,6 \text{ m}^3 * 28.642 \text{ kcal/kg} * 4,1868) / 86400 = 122,97 \text{ kW/dia}$$

#### **4.1-Uso de energia solar para quebra da molécula de água.**

Na tese de GERAÇÃO DE HIDROGÊNIO POR ELETROLISE DA ÁGUA UTILIZANDO ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA realizada por DANIEL KNOB é definida algumas informações a saber:

O mundo em 2010 consumia 17,4 trilhões de watts, ou 17,4 terawatts equivalentes em uma taxa contínua. Há expectativas de aumento da população da Terra, de crescimento econômico e desenvolvimento tecnológico. Projetase, para 2050 setenta e cinco por cento a mais de demanda energética (30 TW) e quase o triplo ao final do século (46 TW). As reservas de combustíveis fósseis não serão capazes de satisfazer essa demanda em longo prazo e seu uso contínuo produz efeitos nocivos, como a poluição atmosférica que ameaça a saúde humana e os gases de efeito estufa associados às mudanças climáticas.

O potencial de uso do hidrogênio como fonte intermediária de energia vem se concretizando e uma inserção deste na economia, vista como uma integração da geração, armazenamento e uso de hidrogênio, oferece possibilidades para a gestão de energia no futuro. O hidrogênio pode ser gerado por fontes renováveis, nuclear e por combustíveis fósseis com captura e sequestro de carbono.

Se implantadas corretamente, fontes renováveis de energia podem contribuir para o desenvolvimento social e econômico, para o acesso à energia, para um

abastecimento energético seguro e sustentável e para a redução dos impactos negativos do fornecimento de energia no ambiente e na saúde humana

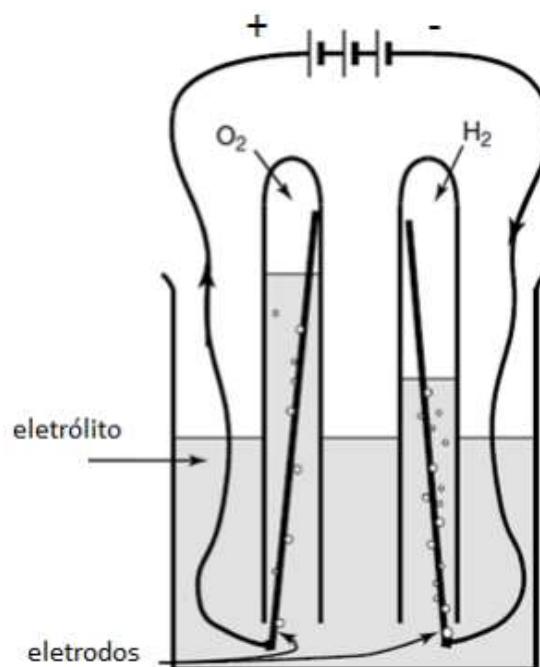
O hidrogênio é um vetor energético com teor zero de carbono. Sua combustão produz apenas calor e água sem poluentes ofensivos ou dióxido de carbono. O hidrogênio pode ser combinado com o oxigênio em reações eletroquímicas em uma célula a combustível para produzir eletricidade.

A elevada eficiência de conversão das células a combustível, até 60%, torna-os atrativos em comparação com alternativas de geração elétrica baseados em combustíveis fósseis.

A eletrólise da água é um componente-chave para a produção de hidrogênio sustentável e eficiente. Reduzir o consumo de energia, custo e manutenção e aumentar a confiabilidade, durabilidade e segurança são os desafios para a utilização generalizada da eletrólise da água.

Um grande desafio é a produção de hidrogênio por energia solar economicamente competitiva aos combustíveis fósseis, um dos possíveis caminhos é a aplicação em conjunto de duas tecnologias, a eletrólise da água e a solar fotovoltaica. Hidrogênio menos dispendioso e altamente puro facilitaria a implantação da tecnologia de células a combustível eliminando caros sistemas de purificação e difundiria o uso de células a combustível de baixa temperatura como as alcalinas e do tipo PEM com necessidades de combustíveis não contaminados por carbono.

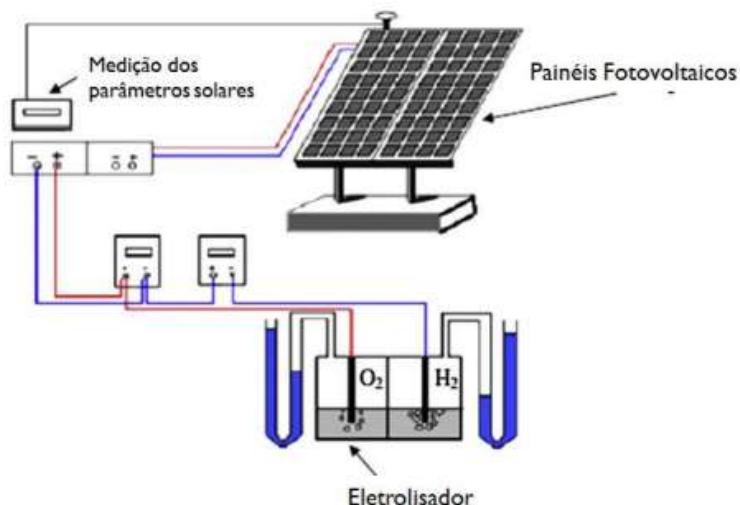
Eletrólise da água de baixa temperatura. Um caminho promissor para produzir hidrogênio é pela separação da água utilizando energia elétrica (eletrólise), pela aplicação de um potencial elétrico na água misturada a substâncias chamadas eletrólito, para dividir-a em hidrogênio e oxigênio. A eletrólise é menos eficiente do que um caminho químico direto, mas oferece praticamente nenhuma poluição ou subprodutos tóxicos se a corrente elétrica é gerada utilizando energias renováveis. Esta opção, porém, pode ser usada para produção distribuída de hidrogênio em postos de abastecimento.



Célula eletroquímica de produção de hidrogênio e oxigênio.

## Características da conversão da energia solar para energia elétrica

O módulo fotovoltaico é a unidade básica de todo o sistema fotovoltaico. O módulo é composto por células conectadas em arranjos produzindo tensão e corrente suficientes para a utilização da energia solar. Geralmente, a potência dos módulos é dada pela potência de pico expressa na unidade W (Watt pico), associada às condições padrão de testes (STC - Standard Test Conditions): radiação solar de 1 kW/m<sup>2</sup>, temperatura de célula 25°C e Massa de Ar 1,5 [45]. Os principais parâmetros de especificação de uma célula solar são: a corrente de curto-círcuito (I<sub>cc</sub>); tensão de circuito aberto (V<sub>ca</sub>); tensão e corrente de máxima potência, respectivamente V<sub>max</sub> e I<sub>max</sub>; o fator de forma e a eficiência ( $\eta$ ) [58]. A Figura 16 mostra um modelo simplificado que reproduz a curva I<sub>x</sub>V para uma célula fotovoltaica típica.



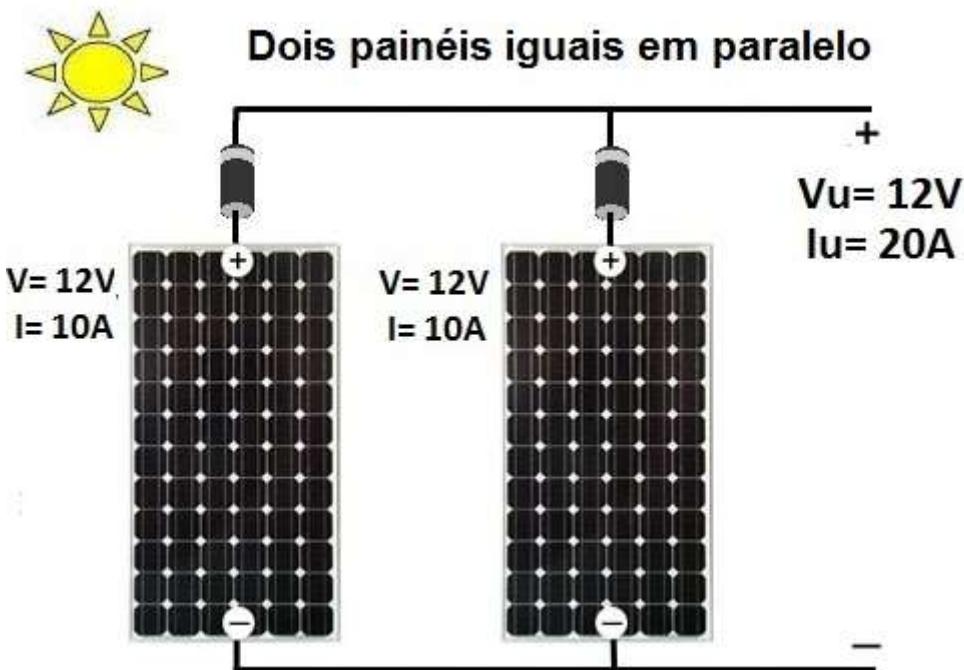
Configuração experimental de um sistema integrado eletrolisador – gerador Foto Voltaico

O uso de alta frequência para geração de hidrólise aumenta a eficiência da célula.

Existem duas frequências principais que produzem os melhores resultados. Eles são: 14.372 kHz e 43.430 kHz. O primeiro é cerca de 50% mais eficiente, mas qualquer frequência entre 9 kHz e 143.762 KHz FUNCIONA muito bem. Após a energia elétrica gerada pelas placas solares deverá haver um gerador de frequência para aumentar a eficiência da geração de hidrogênio.

### O circuito elétrico.

Placas solares ligas em paralelo para aumento de corrente para geração de hidrogênio de oxigênio.



Mantem a mesma tensão e aumenta a corrente.

#### Ligaçāo do MPPT – Seguidor do ponto de māxima potēcia.

A função do MPPT é que a medida que a tensão do painel solar / corrente aumenta, o gerador PWM aumenta a sua taxa de repetição resultando assim num aumento da corrente de saída.

#### Circuito gerador de Frequêcia.

Será criado um circuito gerador de frequêcia para aumentar a produção de hidrogênio de oxigênio no eletrolisador.  
Será usado um CI 555 na frequêcia indicada.

#### Eletrolisador

As placas serão confeccionados em aço inox 316 e calculados de acordo com a necessidade de hidrogênio e oxigênio e acondicionadas num recipiente de plástico.

#### 4.2-Uso de energia eólica para quebra da molécula de água.

Serão utilizados aerogeradores de pequeno porte para geração de energia elétrica.

O método para geração de hidrogênio é o mesmo para ao item por energia solar acima.

E o eletrolisador será o mesmo.

Sabendo que poderá haver energia eólica durante o dia e também durante a noite.

Um pequeno banco de baterias poderá ser utilizado para a entrada de energia, tanto de energia solar e eólica pelas baterias e das baterias para o eletrolisador.

## 5 - CALDEIRAS E EQUIPAMENTOS DE ENERGIA TÉRMICA

Na tese ASPECTOS TÉCNICOS RELACIONADOS À GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO LODO DE ESGOTO De Luiz Leal Netto Machado ele define as caldeiras como equipamentos construídos para aquecer um fluido ou produzir vapor a partir da queima de combustíveis. Nas caldeiras para vapor d'água, de acordo com as necessidades do processo, o vapor pode ser produzido nas condições de saturação ou superaquecido.

As caldeiras de combustão utilizam uma extensa gama de combustíveis sólidos, líquidos e gasosos. Já as caldeiras de recuperação são equipamentos destinados ao aproveitamento do calor residual de algum sistema ou processo, para a geração de vapor ou para aquecimento de algum fluido.

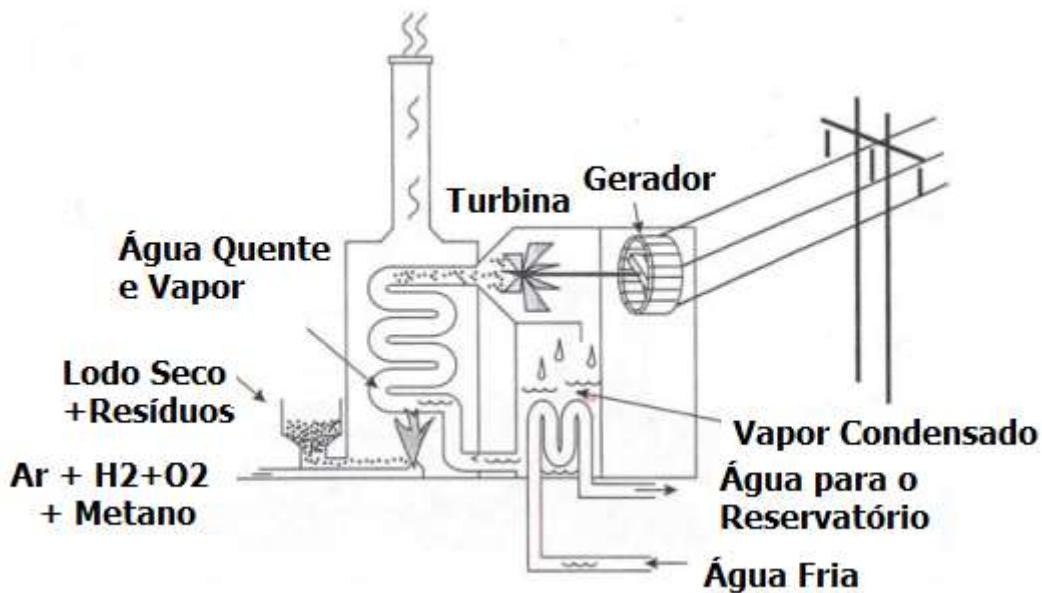
As caldeiras são muito utilizadas em cogeração de energia elétrica e térmica, para recuperar a energia residual dos gases de exaustão de turbinas a gás ou de motores alternativos.

Nas aplicações de recuperação de calor de turbinas a gás, na configuração de geração elétrica em ciclo combinado, este equipamento pode ser muito sofisticado, com múltiplas pressões e circuitos complexos de troca de calor. Nas aplicações que exigem maior produção de vapor, maior pressão e temperatura, ou maior flexibilidade de operação, são, algumas vezes, dotados de queima suplementar de combustível, exaurindo ou não o oxigênio residual da queima do combustível da turbina a gás. Dependendo da quantidade de combustível adicional, pode ser necessária a adição de ar para a queima. Quando possível, utiliza-se como suplementar outro combustível mais barato que o da turbina a gás.

## CICLO DE COGERAÇÃO COM TURBINAS A VAPOR

Neste ciclo de cogeração, a energia térmica resultante da combustão é transferida, através de caldeira, para a água que vaporiza e superaquece. O vapor superaquecido é expandido em uma turbina que aciona uma carga mecânica (ou gerador elétrico). O vapor é extraído na saída da turbina, nas condições de temperatura e pressão requeridas para o processo que utiliza este calor útil. Geralmente, o fluido é devolvido à caldeira no estado de condensado para reiniciar o ciclo de transferência de energia.

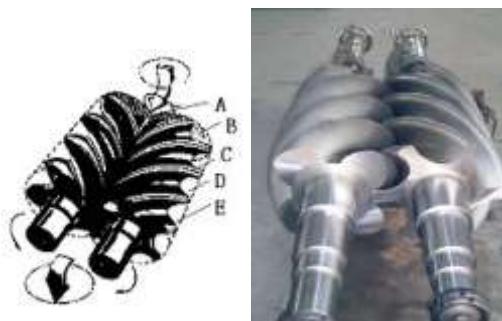
Este ciclo de cogeração permite a utilização de combustíveis mais baratos, como resíduos industriais, carvão, lenha, bagaço de cana, biogás, entre outros, muitas vezes os únicos disponíveis no local.



### TURBO GERADOR A PARAFUSO HELICOIDAL A SER UTILIZADO

A empresa Jiangxi Hua Dian Electric Power Co., Ltd. está localizada na China e desenvolveu o Turbo Gerador a Parafuso Helicoidal. O mesmo possui como componente básico um par de parafusos helicoidais e uma carcaça.

O vapor saturado ao percorrer o par de parafusos helicoidais reduz a sua pressão e a sua expansão volumétrica movimenta os dois elementos helicoidais. Como mostrado na Figura abaixo, o vapor entra no sulco A e percorre as posições B, C e D até sair pelo sulco E em um processo contínuo. Na Figura abaixo é mostrada uma foto do par de parafusos helicoidais.



As vantagens da utilização do Turbo Gerador a Parafuso Helicoidal são diversas, sendo que se destacam as seguintes:

Não necessita de combustível adicional para gerar energia elétrica;

Recupera calor residual;

Aplicável a vapor saturado com qualquer título;

Aceita baixas pressões de operação;

Aplicável a vapor de fluidos refrigerantes;

Absorve variações de pressão e vazão;

Montagem modular ocupando pequeno espaço;

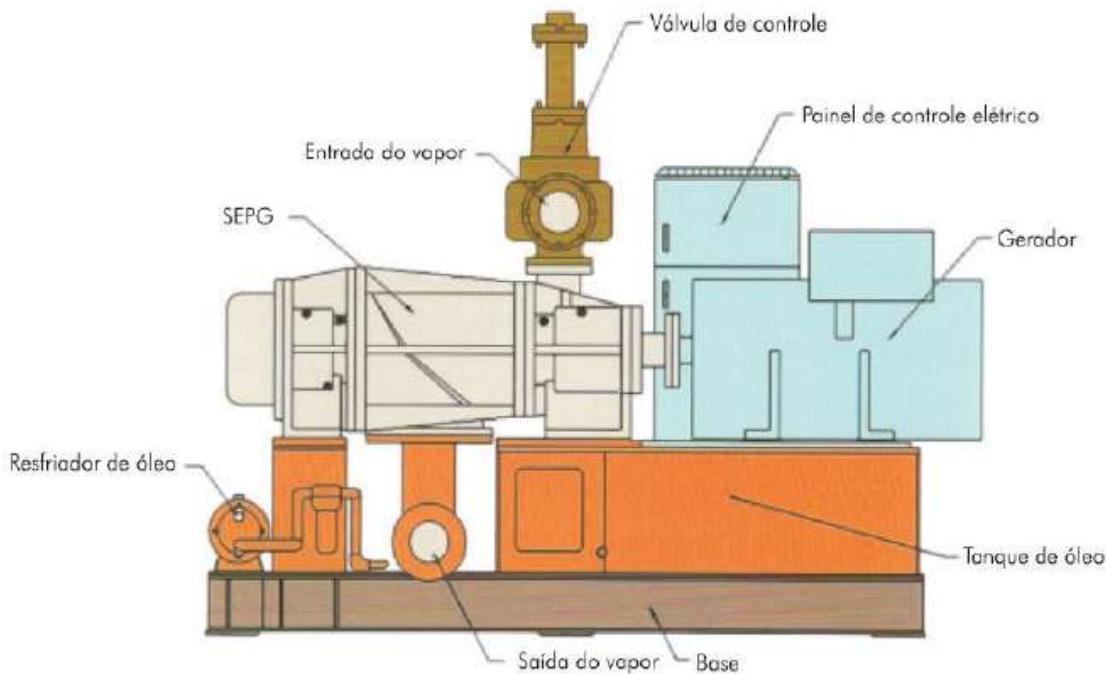
Modelos aplicáveis a variadas vazões de vapor (3 a 200 ton/h);

Operação simples;

Fácil manutenção.

## MONTAGEM DO GERADOR A PARAFUSO HELICOIDAL

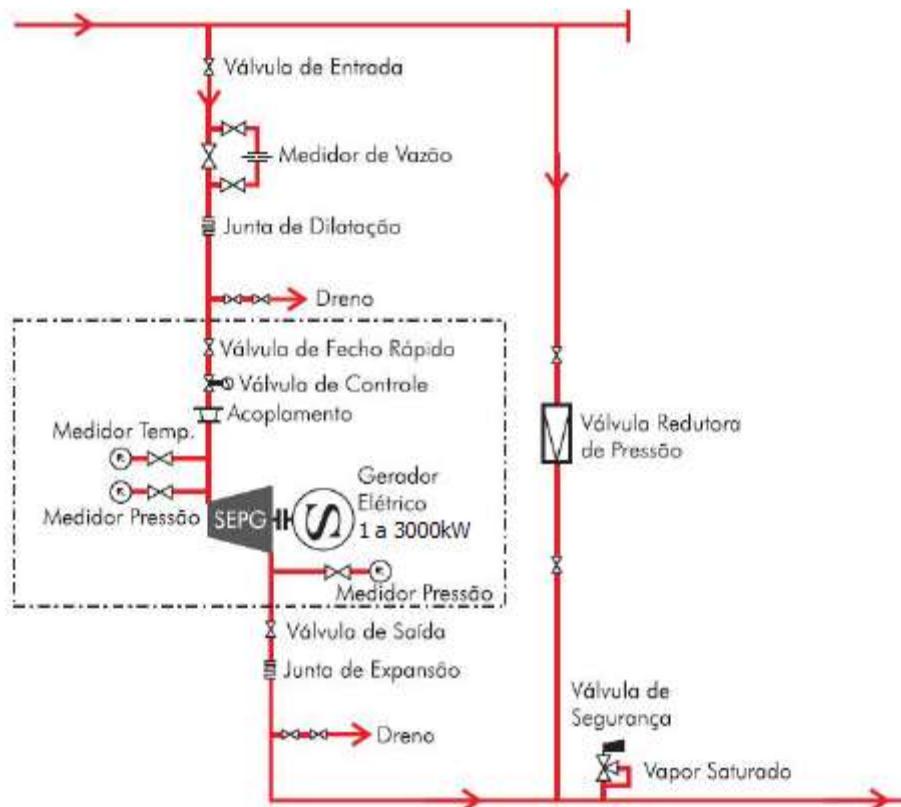
O par de parafusos helicoidais (SEPG) é montado em um chassi com uma válvula de controle na entrada, uma válvula de fecho rápido, um tanque de óleo de lubrificação, uma bomba de óleo lubrificante, um trocador de calor de placas para o resfriamento do óleo, um redutor, um gerador elétrico e um painel de controle elétrico. Na Figura abaixo, pode-se verificar estes itens montados.



Suas características técnicas são as seguintes:

Pressão de acionamento: de 0,30 a 2,5 MPa (3,0 a 25,0 bar);  
ΔP (diferença de pressão entre entrada e saída): de 0,4 a 1,5 MPa (4,0 a 15,0 bar);  
Temperatura de vapor saturado: 143 a 226°C;  
Potência gerada: 1 a 3.000 kW.

O primeiro Turbo Gerador a Parafuso Helicoidal montado fora da China está em operação em Minas Gerais desde Abril de 2012, gerando em torno de 300 kW.



Fluxograma da instalação do Turgogerador

## RESUMO

RESÍDUO	kW/DIA
Hidrogênio	122,97
Biogás	212,97
Óleo	0,022
Lodo	75,958
<b>Sub Total Geração</b>	<b>411,92</b>
Secagem Lodo	74,179
Consumo	5,5
<b>Sub Total Consumo</b>	<b>79,679</b>
<b>TOTAL GERAL</b>	<b>332,24</b>

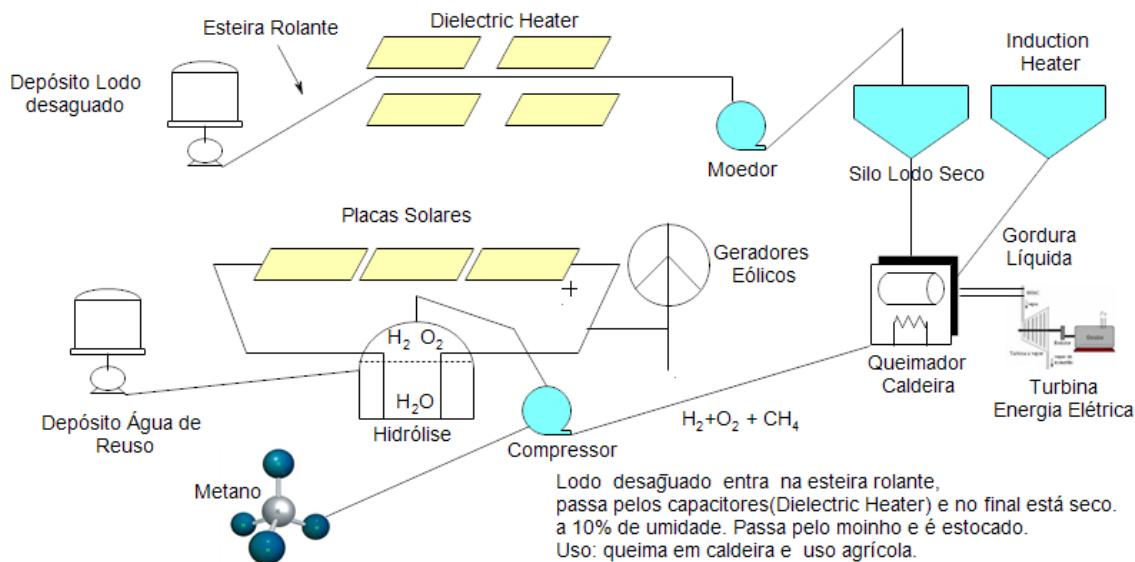
Resumo de Estudo de Geração de Energia Elétrica para duas Estações de trabalho de Esgoto de 20 litros por segundo.

Sendo que o volume de Metano é retirado apenas de uma estação de tratamento de esgoto de 20 litros por segundo. Enquanto que o lodo é retirado das duas estações de 20 litros por segundo.

## FLUXOGRAMA DO PROCESSO

Parte dessa energia será usada para o sistema, exemplo: secagem do lodo por rádio frequência, movimentação de lodo (esteira rolante), moagem grossa do lodo seco e silo; o restante da energia vai para a concessionária de energia, ou enviar toda a Energia para a Concessionária.

Montagem de uma usina piloto no município, por exemplo: Macaé-RJ.



## CONCLUSÃO

O balanço de energia é positivo.

O uso do hidrogênio deverá ser estendido para outros combustíveis como o lodo e o óleo além do metano. Assim aumentaríamos a capacidade de produção de energia da unidade.

Uma sugestão seria a mistura do óleo com o lodo seco e sua injeção junto com hidrogênio e oxigênio para queima.

O resultado menor de produção de energia do hidrogênio foi baseado na proporção do hidrogênio a ser misturado no metano que é de apenas 13%.

Testes em laboratório deverão ser realizados para aumentar o volume de hidrogênio na mistura Hidrogênio/Metano, na queima.

DANIEL KNOB sugere o uso de células de combustível utilizando o hidrogênio e o Oxigênio gerado pela eletrólise. É uma alternativa a ser verificada. Afinal, a água de reuso não é usada para nenhuma aplicação no momento.