



Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

TÉCNICO EM ELETROTÉCNICA

GERAÇÃO DE ENERGIA TERMOELÉTRICA

THERMOELECTRIC POWER GENERATION

JOÃO CARLOS DA SILVA ¹

MURILO CORREA DOS SANTOS²

PEDRO APARECIDO FERREIRA³

RICARDO DOS SANTOS⁴

Resumo: O presente artigo trata da explanação de uma central termelétrica que tem como combustível principal a utilização de gás natural provindo de aterro sanitário, cuja decomposição de matéria orgânica gera gás metano (CH₄) num processo chamado decomposição anaeróbica (ou sem oxigênio), é um gás inflamável que pode ser aproveitado para gerar energia.

O objetivo do projeto é comprovar a eficácia do sistema na geração de energia elétrica, pois o gás natural se tem em abundância e com baixo custo, sendo subutilizadas suas capacidades e propriedades. A metodologia aplicada é através da queima do gás de forma controlada, pois o mesmo deve ter parâmetros de pressão e vazão, sendo anteriormente purificado, afim de retirar resíduos prejudiciais ao processo, sendo injetado por um compressor de gás em uma caldeira a vapor, que no qual é alimentada por água desmineralizada, para que assim não possa ter incrustações e obstruções na tubulação. O resultado é um vapor de alta qualidade com as características e aspectos desejados para a movimentação de uma turbina a vapor, que está acoplada a um gerador de energia elétrica. O vapor desenvolve um ciclo chamado de Rankine, é um sistema termodinâmico que converte calor em trabalho mecânico. Ele descreve quatro processos fundamentais: caldeira (onde o fluido de trabalho é aquecido e vira vapor), turbina (onde o vapor se expande e produz trabalho), condensador (onde o vapor é condensado de volta a líquido) e bomba (que comprime o líquido de volta à pressão da caldeira), o enfoque se faz para melhorar o desempenho da geração, regenerando o conjunto. Conclui-se que o sistema do qual é tratado se chama central termelétrica, onde a energia potencial do gás e da água se transforma em energia térmica, o vapor em energia cinética capaz de tirar da inercia a turbina a vapor, que por sua vez se transforma em energia mecânica, acoplada ao gerador de energia elétrica, que com o controle de velocidade adequados produz corrente e tensão com a frequência correta para ser utilizada, sendo já um processo preexistente e funcional que pode ser aplicado em larga escala.

¹ Técnico em Automação, Etec Jacinto Ferreira de Sá , Ourinhos/SP – joao.silva3758@etec.sp.gov.br

² Ensino Médio, E.E Domingos Carmelino Caló, Ourinhos/SP - murilo.santos245@etec.sp.gov.br

³ Ensino Médio, Escola Estadual Carolina Lupion, Carlópolis /PR – pedro.ferreira@etec.sp.gov.br

⁴ Ensino Médio, E.E Maria do Carmo Arruda da Silvas, Ourinhos/SP - ricardo.santos439@etec.sp.gov.br



Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

Palavras chaves: geração, energia, termelétrica, gás, metano.

Abstract: This article presents an explanation of a thermoelectric power plant that uses natural gas derived from landfill sites as its main fuel. The decomposition of organic matter in landfills generates methane gas (CH_4) through a process called anaerobic decomposition (or without oxygen). Methane is a flammable gas that can be harnessed to generate energy. The purpose of this project is to demonstrate the efficiency of the system in generating electrical energy, as natural gas is abundant and low-cost, yet its potential and properties are underutilized. The applied methodology consists of the controlled combustion of the gas, which must meet specific pressure and flow parameters, and is previously purified to remove residues that could be harmful to the process. The purified gas is injected by a compressor into a steam boiler, which is supplied with demineralized water to avoid scaling and clogging in the piping. The result is high-quality steam with the necessary characteristics for driving a steam turbine, which is coupled to an electric generator. The steam follows a cycle known as the Rankine cycle, a thermodynamic system that converts heat into mechanical work. It describes four fundamental processes: boiler (where the working fluid is heated and turned into steam), turbine (where steam expands and produces work), condenser (where steam is condensed back into liquid), and pump (which compresses the liquid back to boiler pressure). The focus is on improving the performance of power generation by regenerating the cycle. It is concluded that the system under study is a thermoelectric power plant, where the potential energy of gas and water is converted into thermal energy, steam into kinetic energy capable of moving the steam turbine, which in turn becomes mechanical energy, coupled to the electric generator. With proper speed control, the generator produces current and voltage at the correct frequency for use. This is already a pre-existing and functional process that can be applied on a large scale.

Keywords: generation, energy, thermoelectric, gas, methane.

1 INTRODUÇÃO

O tema do artigo se refere a uma termoelétrica à vapor, alimentada pelo biogás proveniente de lixo orgânico. A geração de energia termoelétrica ocorre, geralmente, em usinas que utilizam caldeiras para queimar combustíveis, como carvão, biomassa, gás natural ou óleo diesel. O calor gerado nesse processo aquece a água, transformando-a em vapor, que, por sua vez, movimentam turbinas conectadas a geradores elétricos. A eficiência das usinas termoelétricas pode variar entre 30% e 45%, dependendo do tipo de tecnologia utilizada". Essa eficiência é um fator crucial, pois determina a quantidade de energia que pode ser gerada a partir de uma



Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

determinada quantidade de combustível. Se concretiza em elaborar um protótipo de caldeira cujo mesmo objetivo é gerar vapor e por sua vez produzir uma força potencial para rodar uma turbina, produzindo energia mecânica, transmitida para um gerador de energia elétrica. Dado que é considerado um problema o grande acúmulo de lixo nos aterros sanitários, que ao invés de ser desperdiçado na atmosfera pode-se utilizá-lo como fonte de energia limpa, que pode trazer muitos benefícios ao meio ambiente e colaborando com as fontes de matriz energética, visto que o consumo de energia elétrica é crescente.

Justifica-se a constante necessidade de novas fontes de energia elétrica no planeta, pode-se utilizar essa alternativa para aquecer uma caldeira que por sua vez gera energia elétrica, podendo assim não somente reduzir os gases do efeito estufa, mas sendo sustentável, economicamente viável e socio ambientalmente responsável. A transformação do gás metano em energia elétrica pode reduzir a conta de luz a princípio em até 12% em comparação a energia elétrica gerada por hidrelétricas.

Tem-se como dado que, no território nacional produz cerca de 82 milhões de toneladas de resíduos sólidos anualmente, o que equivale a aproximadamente 224 mil toneladas diárias de lixo, o lixo orgânico pode ser transformado em adubo (compostagem) e gás (biometano), o que o torna uma matéria-prima valiosa, em vez de um problema para o meio ambiente.

A metodologia foi dedutiva, baseada em conhecimentos já existentes sobre a área e as pesquisas realizadas em artigos científicos sobre o tema. A geração de energia termoelétrica é um dos principais métodos utilizados para a produção de eletricidade em todo o mundo. Este processo envolve a conversão de energia térmica, proveniente da queima de combustíveis fósseis ou biomassa, em energia elétrica.

As usinas termoelétricas têm a vantagem de serem capazes de fornecer energia de forma contínua, independentemente das condições climáticas. Diante desse cenário, é fundamental considerar alternativas que possam reduzir o impacto ambiental sendo uma estratégia viável para diversificar a matriz energética e reduzir a dependência de combustíveis fósseis.

O protótipo é alimentado por água potável provindo da rede, simulando o processo de tratamento de água feito por uma estação, necessário que se monitore o nível do balão da caldeira, tal qual fosse em escala natural, pois o mesmo pode ocorrer em arraste de água prejudicando a operação. A água existente no balão da caldeira é aquecida por um fogareiro alimentado por botijão de gás metano comercial, no intuito

Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

de dar entendimento sobre a coleta purificada do gás natural, retirado de um aterro sanitário, neste momento a combustão do gás, gerando fogo, sendo controlada manualmente conforme a necessidade e condições, o resultado deste procedimento será a produção de vapor. Dado que a operação será manual e visual, o vapor passa por uma tubulação que o guia até a turbina que está acoplada gerador, a velocidade da rotação proporciona uma tensão de saída que é monitorada por um multímetro.

A seguir são apresentados os seguintes capítulos: referencial teórico e análise dos dados, sistema de compensação energética, tratamento para retirada de impurezas, capacidade energética do biogás e referências.

2 REFERENCIAL TEÓRICO E ANÁLISE DOS DADOS

As usinas termelétricas têm um papel importante na matriz elétrica brasileira, pois são acionadas quando as usinas hidrelétricas estão com reservatórios com níveis baixos. Uma termelétrica é uma instalação que produz energia elétrica a partir da queima de gás natural. O processo envolve a combustão do gás, a produção de vapor e o acionamento de uma turbina que gera eletricidade.

O gás natural é comprimido e misturado com ar em alta pressão, a mistura é queimada em uma câmara de combustão que libera energia térmica. A energia térmica aquece a água em uma caldeira, produzindo vapor de alta pressão que aciona uma turbina, que por sua vez aciona um gerador elétrico. O vapor é resfriado e retorna ao estado líquido, que é reaquecido e reiniciado no ciclo.

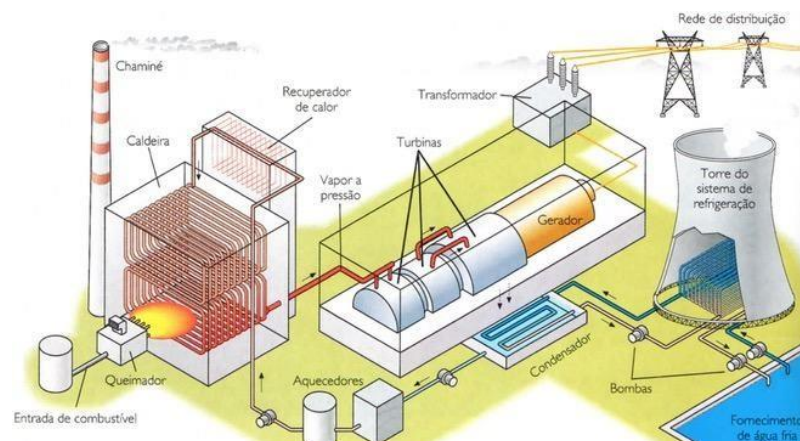


Figura 1 – Termelétrica

Fonte: <https://blog.esferaenergia.com.br/fontes-de-energia/usina-termelétrica>



Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

O presente artigo tem o intuito de realizar uma explanação do processo de geração de energia elétrica através do biogás, desde a caracterização do substrato, seu processamento através dos processos de biodigestão anaeróbia, pré-tratamento, análise da disponibilidade da matéria prima, e dos índices de qualidade do biogás requeridos para o emprego no processo de geração de energia elétrica, de acordo com as normatizações e legislações vigentes no país.

Existe no Brasil grande oportunidade para a geração de energia elétrica a partir do Biogás, em especial quando o substrato é proveniente de resíduos.

A conversão dos resíduos orgânicos, muitas vezes descartados de forma insustentável, pode se tornar um diferencial competitivo para a economia brasileira, além de contribuir para a redução dos GEE (Gases de Efeito Estufa).

O composto de gases proveniente desse processo é chamado de biogás, sendo constituído principalmente por metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), contendo também pequenas quantidades de hidrogênio (H_2), amônia (NH_3) e outros gases em menor quantidade, isso lhe confere características de alto poder calorífico, podendo ser utilizado como fonte de energia para a geração de energia elétrica, térmica. (GEHRING, C. G, 2014).

Apesar do processo de degradação da matéria prima ocorrer de maneira natural no meio ambiente, com tecnologias adequadas, a biodigestão anaeróbia pode ser utilizada para o tratamento de resíduos sólidos e líquidos, pois há um processo de reciclagem e recuperação desses materiais, que acaba por produzir, além do biogás, uma parte líquida digerida, conhecida como digestato.

O manejo desta tecnologia aliado a estudos de eficiência por diversas instituições de pesquisa do setor no Brasil e no mundo, tem possibilitado otimizar a produção do biogás e conseqüentemente elevarem a produção de energia elétrica que poderão tornar o Brasil no futuro um dos maiores geradores de energia elétrica oriunda de resíduos orgânicos.

Na primeira etapa do processo o biogás é encaminhado para os processos de lavagem e pré-tratamento, a seguir o biogás passa por filtros para redução de odores e para sanitização, onde seu caminho de saída se dá pelo tubo de alimentação da linha de gás para caldeira.

O processo de degradação da matéria orgânica escolhido neste estudo foi o anaeróbico, que é um processo mediado pela ação microbiana, por meio da



Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

atividade conjunta de vários grupos de células anaeróbias, em diferentes níveis, que convertem matéria orgânica complexa em gases e lodo sem a presença de oxigênio.

A escolha do processo de degradação anaeróbico em relação ao processo aeróbico, apresenta vantagens na aplicabilidade, produção de metano com elevado teor calorífico.

Para que haja eficiência na produção de biogás, se faz necessário conhecer as características dos substratos que podem ser utilizados para produção de biogás. O potencial máximo de produção de metano de um substrato pode ser dado em metros cúbicos de metano por quilo de sólidos voláteis ($m^3 CH_4.kgSV-1$) ou em metros cúbicos de metano por quilo de substrato ($m^3 CH_4. kg.Substrato-1$).

3 SISTEMA DE COMPENSAÇÃO ENERGÉTICA

A energia elétrica gerada a partir do biogás pode ser enquadrada como Geração Distribuída (GD), pois a partir do dia 1º de março de 2015, entrou em vigor a Resolução Normativa nº687 da ANEEL, que tem como objetivo aprimorar o que foi estabelecido na resolução nº482 de 2012, tornando possível instalar pequenas usinas geradoras. De acordo com as novas regras, será considerada como microgeração a instalação de geradores com potência de até 75kW. Acima dessa potência, com valor de até 5MW, já é possível considerar como minigeração.

Já um gerador com turbina à vapor pode gerar quantidades de energia que variam amplamente, dependendo do tamanho e da eficiência da turbina. Algumas turbinas industriais podem gerar até 200 MW, a eficiência da conversão de energia térmica em energia elétrica pode chegar a 90%.

Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

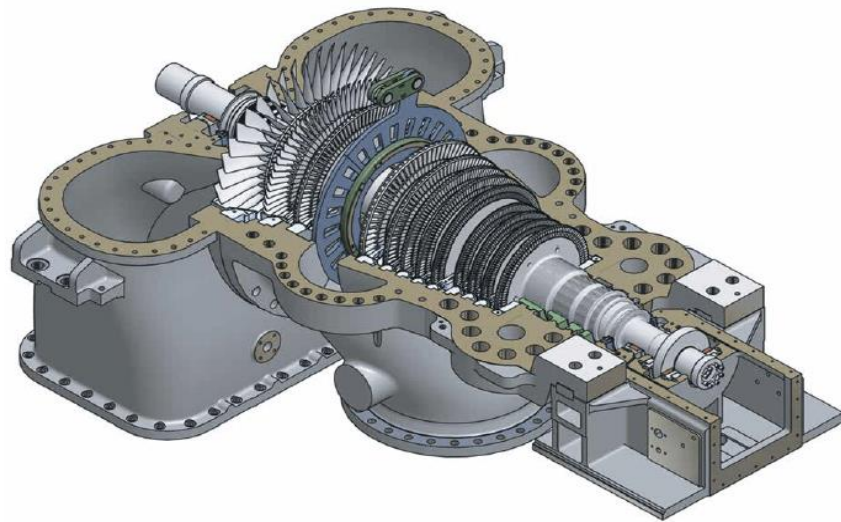


Figura 2: Visão bipartida de uma turbina à vapor

Disponível em: <https://turbivap.com.br/funcionamento-turbina-a-vapor/>

4 TRATAMENTO PARA RETIRADA DE IMPUREZAS

Como o biogás é composto inicialmente por uma variedade de gases gerados no processo de degradação da matéria orgânica, se faz necessário o processo de tratamento para determinadas finalidades de sua utilização.

O mesmo pode ser usado nas condições em que é gerado ou deverá passar por tratamento antes de sua utilização. Esse tratamento geralmente consiste na remoção da umidade, retirada de elementos não combustíveis que reduzem a eficiência na conversão de energia redução de H₂S (sulfeto de hidrogênio) e vestígios de outros gases, remoção de sólidos suspensos, na separação do metano e do dióxido de carbono.

5 CAPACIDADE ENERGÉTICA DO BIOGÁS

A utilização do biogás como recurso energético se deve ao metano, quando puro em condições normais de pressão (1 atm), tem um poder calorífico inferior de 9,9 kWh/m³. O biogás com um teor de metano entre 50 e 80% terá um poder calorífico entre 4,95 e 7,92 kWh/m³ (COLDEBELLA et al, 2006). Em outro estudo, Santos (2000) estipula



Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

que 1 m³ de biogás equivale a 6,5 kWh de energia elétrica, e considerando a eficiência dos sistemas de cogeração variando entre 30 e 38%, a correspondência seria de 2,0 a 2,5 kWh/m³, o que está bem próximo dos resultados encontrados no estudo realizado por Coldebella et al (2006) que foram de 32,3% de eficiência em cogeneradores e 2,1 kWh para 1m³. É possível avaliar o potencial energético do Biogás frente a outros materiais combustíveis: Comparação entre biogás e outros combustíveis:

Combustíveis 1m³ de Biogás equivale à:

- Gasolina 0,98 litros
- Alcool 1,34 litros
- Óleo cru 0,72 litros
- Gás Natural 1,50 m³
- Carvão 1,51 m³
- Eletricidade 2,21 kWh

A captação do gás natural (biogás/biometano) vem com certas impurezas que devem passar por purificação, retirada da umidade e passar por um compressor para manter sob controle as variáveis de pressão e vazão.

O processo inicial se faz por meio de bombeamento de água com uso de bombas centrifugas para um sistema de filtragem de impurezas (ETA - estação de tratamento de água), sem este controle as impurezas podem chegar a níveis inaceitáveis, pois após a evaporação estes resíduos se calcificam e tornam-se inconvenientes, pois podem encrustar em instrumentos de medição causando erros de parâmetro de operação, transferindo a água agora desmineralizada e estéril para a caldeira, que neste caso usa como combustível gás natural proveniente de aterro sanitário para aquecer a água e transformar em vapor.

É preciso muita energia para se transformar água em vapor para que seja utilizada em forma de trabalho, porém esta energia é conservada e transformasse em água novamente, na prática a energia é transformada em calor (transferida em energia térmica), todavia se faz necessário manter um controle eficiente do vapor para que não saia de controle, com adoção de sensores de nível, temperatura, vazão, pressão, dentre tantos outros para operação segura e eficiente.

Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

Conforme a água se transforma em vapor se faz necessário a reposição, assim sendo o nível de água na caldeira for baixo a caldeira sofrerá superaquecimento e se for alto a água pode entrar no ponto de saída de vapor e ser arrastada o que resultaria em vapor de baixa eficiência, podendo também causar golpes de aríete nas máquinas ligadas a linha, causando danos irreversíveis aos mesmos.

Esse controle é chamado ON/OFF, quando ao nível mínimo aumentasse a alimentação de água e quando chega ao nível máximo diminui o volume de água.

Após passagem pelo processo o vapor se condensa e retorna ao seu estado líquido, a água continua superaquecida retorna ao sistema de alimentação da caldeira, otimizando o processo de ebulição, minimizando as variações da demanda por vapor, cada processo em si tem a sua configuração para operação ideais e constantes.

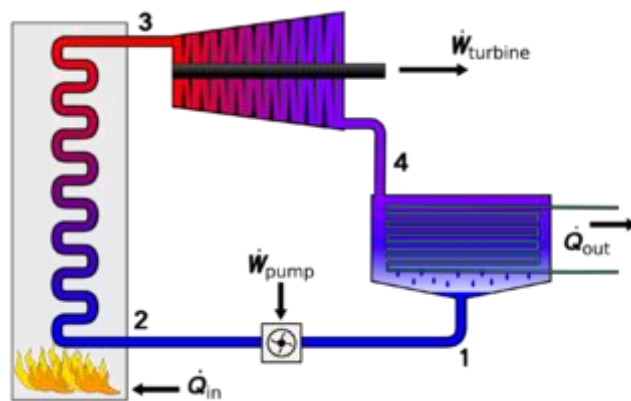


Figura 3: Detalhamento do ciclo de alimentação de uma caldeira à vapor

Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Ciclo_Rankine

Então para a continuidade do processo o vapor se expande na câmara da turbina, que trabalha com temperaturas de entrada em torno de 565 ° C e pressão de 21 kgf/cm² (de acordo com cada instalação), transformando a energia térmica em energia mecânica, no qual faz girar o rotor da máquina quando passa pela palhetas, que pode estar acoplada à outros equipamentos, tanto como: uma bomba centrífuga, acionamento de moendas de cana de açúcar e no proposto em gerador de energia.

A rotação deve ser contínua, controlada e monitorada, o vapor entra pela válvula de admissão e sua passagem é liberada pela válvula reguladora, para os bicos de injeção que aumentam a velocidade do vapor, a entrada do vapor é determinada pelo regulador de velocidade, que pode ser tanto mecânico ou controlado eletronicamente por um PLC, as velocidades mais usuais são entre 1800 rpm à 6000 rpm, em casos

Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

que para atingir a rotação e torques desejados são empregados caixas de engrenagens chamados de redutores de velocidade, que diminuem a rotação e aumentam o torque.

Normalmente se usa um gerador assíncrono trifásico que passa por um sistema de retificação e filtro, antes da ligação com a carga ou rede de energia, um gerador de energia elétrica funciona convertendo energia mecânica em energia elétrica, através do princípio da indução eletromagnética.

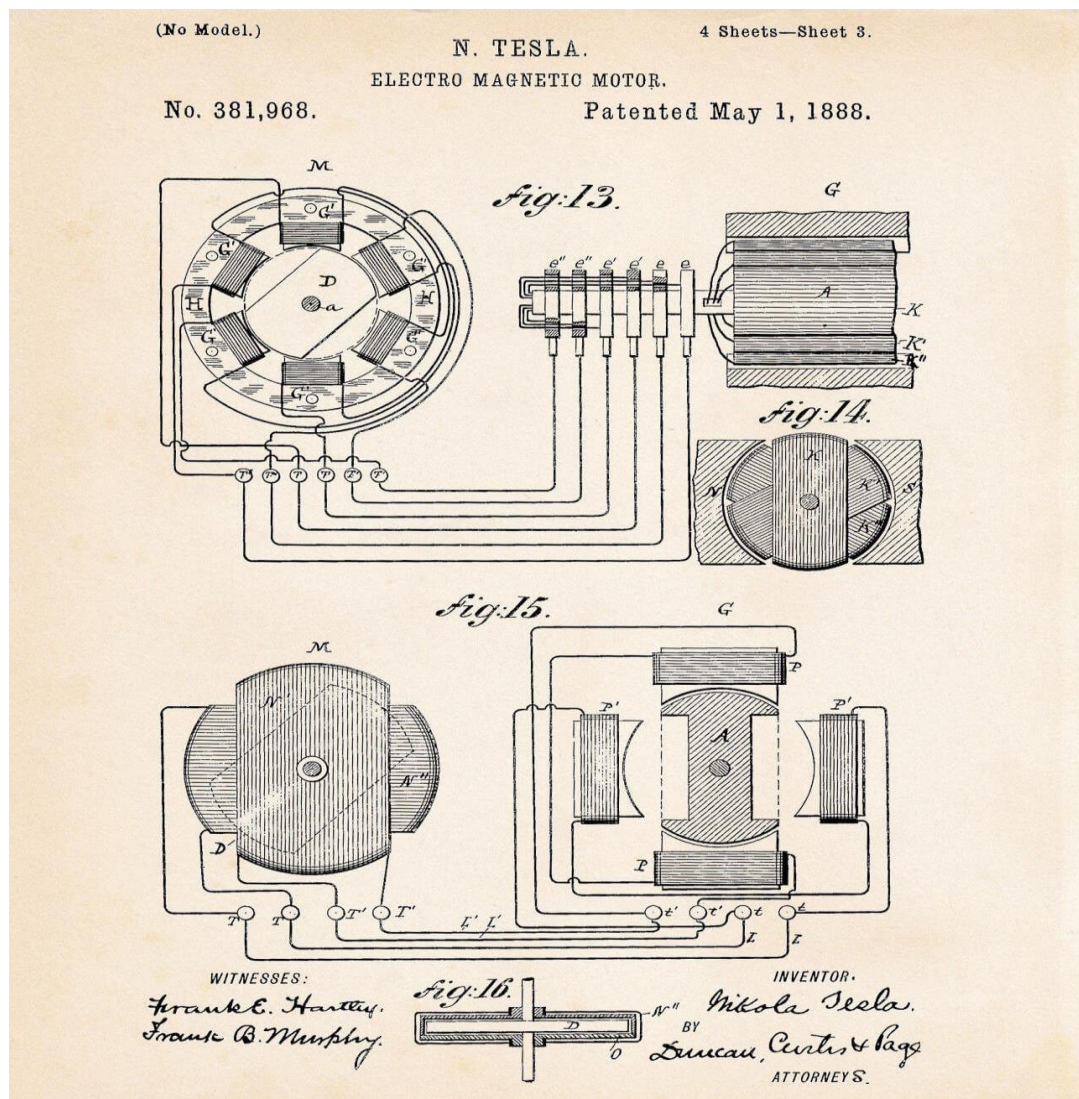


Figura 4: Visão detalhada do primeiro gerador de energia elétrica feito por Nikola Tesla

Disponível em: <https://cienciaytecnologia.periodismoudec.cl/el-genio-que-electrifico-al-mundo-con-sus-inventos/>

De acordo com o princípio da indução eletromagnética de Faraday essa energia mecânica faz com que um condutor elétrico, geralmente um conjunto de espiras (chamadas de bobinas) amplifiquem o campo magnético, ou seja, quando uma corrente elétrica passa por um condutor gera-se o campo magnético.

Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

Os modelos convencionais funcionam da seguinte forma: um ímã é usado para criar o campo magnético, o que faz duas bobinas girarem em direções divergentes. O processo, chamado de indução eletromagnética, distribui a energia gerada para o abastecimento.

Existem à disposição diversos tipos de geradores de energia, podendo encontrar diferentes modelos e diferentes potências, de modo a poder ajustar à sua realidade.

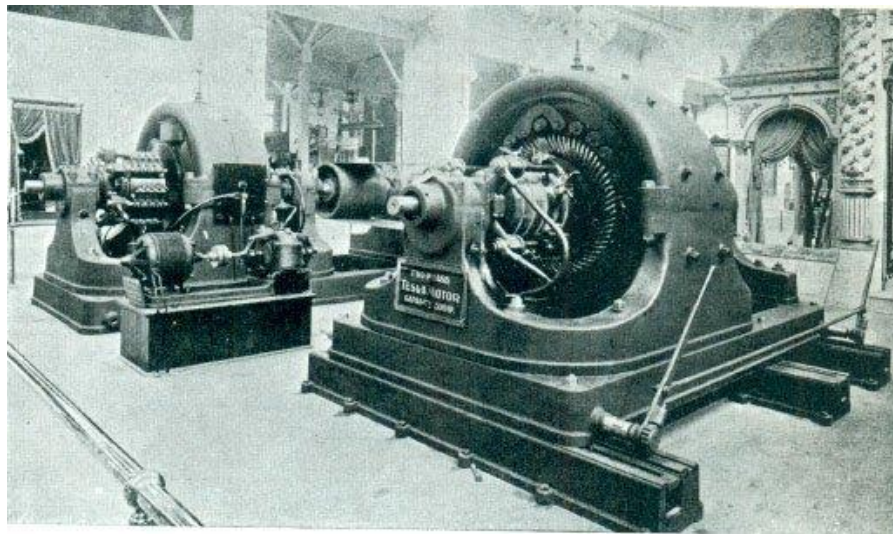


Figura 5: Casa de geração de energia

Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/Main_Page

6 METODOLOGIA

Com base nas informações já adquirida cria-se um protótipo baseado em uma caldeira de escala real com a finalidade de produzir vapor, o qual movimentará uma turbina que estará acoplada a um gerador de energia, o princípio de funcionamento de uma caldeira se resume a alimentar um tubo cilíndrico com 50% de água, o cilindro será monitorada por um visor de nível translucido para que não ocorra variações brusca que possam comprometer o funcionamento, utiliza-se o processo de combustão externa, onde o líquido aquecido pelo fogo não entram em contato entre si, onde temos a chama alimentada continuamente pelo gás metano que será fornecido por um botijão, aquecendo a água do tubo cilíndrico (balão) gerando assim o vapor que e pressurizado e direcionado a turbina com alta temperatura e pressão. O vapor entra em contato com as pás da turbina rotacionando a mesma criando um movimento



Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

cinético em alta rotação tendo assim um aproveitamento da energia térmica, com a turbina em movimento tem-se a criação de energia mecânica ao qual é transmitida por meio de polias e correias obtendo a relação de velocidade ideal o funcionamento do gerador de energia onde é monitorado por um multímetro informando os parâmetros de tensão desejados que ligará uma lâmpada de uma maquete.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo esperado do projeto foi demonstrar a viabilidade técnica de uma estação móvel ou fixa, com possibilidade de mudança rápida, de uma unidade geradora termoelétrica de energia propelida por gás natural provindo da decomposição de matéria orgânica originária de aterro sanitária, tendo a visão que é um produto desperdiçado e subjugado, a demanda crescente por energia torna plausível, viável e rentável.

Contribuir para a sociedade principalmente ao fornecer energia elétrica de forma segura ao sistema. Desempenhar um papel estratégico na matriz energética, servir como uma alternativa para garantir o fornecimento de energia, especialmente em momentos de crise ou na complementação de outras fontes, com baixo custo.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] ALMEIDA, J. R. (2022). Tecnologias de captura e armazenamento de carbono: uma solução para a geração de energia sustentável. São Paulo: Editora Energética.

[2] ABIOGÁS. Conheça o potencial brasileiro de biogás por fonte em 2018. Acesso em: 06 de abril de 2020. Disponível em:

[3] COSTA, R.; KUNZ, A. Partida e operação de reator UASB em escala de bancada para remoção de carga orgânica em dejetos de suínos. In: Jornada de iniciação. Disponível

em:<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/579266/1/RTA2007publicacao6i80b4m.pdf>

[4] CIBIOGÁS. Nota Técnica: N° 02/2019 – Panorama do biogás no Brasil em 2018. Foz do Iguaçu, março de 2019. Disponível em:



Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

www.lactec.org.br/Oinstituto/downloads/Biblioteca/2008/018_2004.

Disponível

em:<https://books.google.com.br/books?id=YpgDCwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false>

[5] COLDEBELLA, A. Viabilidade do uso do biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais. Disponível em: <https://rima.ufrj.br/jspui/bitstream/20.500.14407/13266/3/2016%20-%20Camila%20Ferreira%20Matos.pdf>

[6] FEMA – Fundação Estadual de Meio Ambiente. Guia técnico ambiental de biogás na agroindústria. Belo Horizonte, 2015. Disponível em: <https://saneamentoinclusivo.org.br/wp-content/uploads/2023/09/guia-tecnico-ambiental-de-biogas-na-agroindustria.pdf>

[7] FARRET, Felix Alberto. Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica. Santa Maria: Editora da UFSM, 1999.

[8] GASPAR, R. M. B. L. Utilização de Biodigestores em Pequenas e Médias Propriedades Rurais com Ênfase na Agregação de Valor: Um Estudo de Caso na Região de Toledo – PR. Dissertação (Dissertação em engenharia de produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

[9] GARZON, S. Mecanismos de transformacion de energia, 2014. Disponível em: Acesso em: 01 jun. 2017.

[10] GEHRING, C. G. Análise da geração de energia elétrica a partir do biogás produzido na fermentação anaeróbica de vinhaça. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Elétrica) – Escola de Engenharia Elétrica de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2014.

[11] KIEHL, E. J. Fertilizantes orgânicos. Piracicaba: Editora Agronômica "Ceres", 1985.

[12] LA FARGE, B. Le biogaz. Procedés de fermentation méthanique. Paris: Masson, 1979.

[13] MARTINELLI, L. C. Máquinas Térmicas II. Pinambi: DeTEC, 2002. 135p.

[14] MATHEWS, B.W.; TRland soil nutrient distribution on Hawaiian grasslands. p. 29:119-120. In: BUCHANANSMITH, J.G. et al. (eds.) Proc. Int. Grassl. Congress, 18th. Winnipeg and Saskatoon, Canada, 1997

[15] NOYOLA, A., ORGAN-SAGASTUME, J. M. & LÓPEZ-HERNÁNDEZ, J. E. Treatment of biogas produced in anaerobic reactors for domestic wastewater: odor



Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

- control and energy/resource recovery. Rev. Environ. Sci. Biotechnol. 5 (1), 93–114. 2006 Disponível em: <https://www.giz.de/en/downloads/probiogas-guia-etes.pdf>
- [16] OLIVEIRA, M. A. (2021). Impactos ambientais da geração de energia termoelétrica. Rio de Janeiro: Editora Verde.
- [17] REIS, Lineu Belino dos. Geração de energia elétrica. 2ª ed. Ver. e atual. Barueri, SP: Manole, 2011.
- [18] REGO, E. E.; HERNANDEZ, F. D. M. Eletricidade por digestão anaeróbia: contornos técnicos, econômicos e ambientais de uma opção. In: AGRENER GD: CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E ENERGIA NO MEIO RURAL, 6., 2006. Anais... Campinas: UNICAMP, 2006.
- [19] SILVA, T. P. (2020). Eficiência na geração de energia: uma análise das usinas termoelétricas. Belo Horizonte: Editora Energia e Meio Ambiente.