



GOVERNO DO RIO DE JANEIRO
SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
CENTRO UNIVERSITÁRIO ESTADUAL DA ZONA OESTE

**O USO DE TURBINAS A GÁS PARA GERAÇÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA EM PLATAFORMAS**

Ernani do Livramento de Meneses

Rio de Janeiro

2011

ERNANI DO LIVRAMENTO DE MENESES

Aluno do curso de Tecnologia em Construção Naval

Matrícula 0713800249

**O USO DE TURBINAS A GÁS PARA GERAÇÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA EM PLATAFORMAS**

Trabalho de Conclusão de Curso, TCC, apresentado ao curso de Graduação em Tecnologia em Construção Naval, UEZO como parte dos requisitos para obtenção do grau de Tecnólogo em Construção Naval, sob a orientação do Prof. Bruno Sampaio Andrade.

Rio de janeiro

Janeiro de 2011

O USO DE TURBINAS A GÁS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM PLATAFORMAS

Elaborado por Ernani do Livramento de Meneses

Aluno do Curso de Tecnologia em Construção Naval da UEZO

Este trabalho de Graduação foi analisado e aprovado com

Grau:.....

Rio de Janeiro, 06 de janeiro de 2011

Prof. Erico Vinicius Haller dos Santos da Silva, Tecnólogo em Petróleo e Gás

Prof. Carlos Alberto Martins Ferreira, D.Sc

Prof. Bruno Sampaio Andrade, Engenheiro Eletricista

Presidente

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

JANEIRO DE 2011

AGRADECIMENTOS

A minha família que me incentivou em todos os momentos difíceis;

Ao meu Orientador, Prof. Bruno S. Andrade que forneceu orientações seguras para o desenvolvimento deste trabalho;

Aos meus professores e colegas, pela caminhada solidária.

EPÍGRAFE

“Uma vez tomada à decisão de não dar ouvidos mesmo aos melhores contra-argumentos: sinal do caráter forte. Também uma ocasional vontade de se ser estúpido.”

Friedrich Nietzsche

Resumo

A Turbina a gás é a máquina primária mais utilizada nos sistemas de geração de energia das plataformas petrolíferas. A Petrobras vem aumentando os investimentos devido a descoberta da camada Pré-sal e suas plataformas estão sendo amplamente equipadas com as turbinas a gás, principalmente da Rolls-Royce e da General Eletric. Essa concorrência eleva a qualidade das mesmas e aumenta a margem de lucro das empresas petrolíferas que fazem uso das turbinas.

Este trabalho apresenta um histórico do desenvolvimento das turbinas a gás, os ciclos termodinâmicos importantes para o entendimento de como funcionam estas Turbinas, seu uso e aplicação no sistema de geração de energia elétrica das plataformas, as partes que formam esse sistema, além de exemplificação do que é necessário para manter o sistema elétrico de um FPSO (Floating Production, and Storage Offloading).

Palavras-chave: turbinas a gás, plataformas, energia elétrica

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- O “Aeolipile” de Hero	6
Figura 2- Macaco de chaminé de Da Vinci	7
Figura 3- Turbina de Giovanni Branca	8
Figura 4- A carruagem de Isaac Newton.....	8
Figura 5- Turbina a gás de John Barber	9
Figura 6- Turbina a gás desenvolvida por Stolze	10
Figura 7- Diagrama pressão x volume do ciclo Brayton.....	12
Figura 8- Partes da Turbina a gás- Renovetec	13
Figura 9- Diagrama temperatura x entropia do vapor d’água do ciclo Rankine	16
Figura 10-Descrição do ciclo Rankine.....	17
Figura 11- Descrição do ciclo simples	18
Figura 12- Ciclo combinado Brayton e Rankine	19
Figura 13- Ciclo Aberto	20
Figura 14- Ciclo Fechado	21
Figura 15- Exemplo de formação de um sistema de geração de energia elétrica em uma plataforma.....	24
Figura 16- Diagrama esquemático de uma turbina a gás. O gráfico à direita é o ciclo ideal de Brayton que descreve, de modo simplificado, a operação de uma turbina a gás	25
Figura 17- Arranjo do gerador e dos periféricos que compõem a geração de eletricidade ..	26
Figura 18- Turbina Rolls-Royce RB 211 modelo H63	27
Figura 19-FPSO em operação	29
Figura 20- Turbina Siemens sendo instalada em um FPSO	31

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABS	American Bureau of Shipping
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CCPP	Combined Cycle Power Plants
FPSO	Floating Production, Storage and Offloading
HRSR	Heat Recovery Steam Generator
TC	Transformador de Corrente
TG	Turbinas a Gás
TP	Transformador de Potencial
TV	Turbinas a Vapor

SUMÁRIO

Resumo.....	v
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	vii
1. INTRODUÇÃO	1
2. DESENVOLVIMENTO	3
2.1 CONCEITOS BÁSICOS	3
2.1.1 Calor.....	3
2.1.2 Energia	3
2.1.3 Geração	3
2.1.4 Cogeração.....	4
2.1.5 Termodinâmica.....	4
2.1.6 Sistema	4
2.1.7 Estado Termodinâmico	5
2.1.8 Trabalho	5
2.2 A TURBINA	5
2.2.1 Histórico das Turbinas a gás	6
2.2.2 Os Processos envolvidos.....	11
2.2.2.1 Ciclo Brayton.....	12
2.2.2.1.1 Admissão	14
2.2.2.1.2 Compressão	14
2.2.2.1.3 Combustão.....	15
2.2.2.1.4 Exaustão	15
2.2.2.2 Ciclo Rankine.....	16
2.2.2.3 Ciclo simples e combinado.....	17
2.2.2.4 Ciclos aberto e fechado	19
2.3 O SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	21
2.3.1 Máquina Primária	21
2.3.2 Geradores	22
2.3.3 Transformadores.....	22

2.3.4	Controle, comando e proteção.....	22
2.4	A UTILIZAÇÃO DAS TURBINAS NAS PLATAFORMAS.....	24
2.5	AS TURBINAS A GÁS NA GERAÇÃO DE ENERGIA DE UM FPSO	29
3.	CONCLUSÃO.....	33
4.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35

1. INTRODUÇÃO

As turbinas a gás (TG) são equipamentos pertencentes ao grupo de motores de combustão interna e têm uma faixa de operação que varia desde pequenas potências como 100 KW até grandes potências como 180 MW, concorrendo assim tanto com os motores de combustão interna (DIESEL e OTTO) quanto com as instalações a vapor (TV).

Suas principais vantagens são os seus pequenos peso e volume (espaço) comparando-se com outros tipos de máquinas térmicas, minimizando o espaço que ocupam. Tais características combinado com sua versatilidade de operação faz com que seu uso esteja em franca ascendência.

Podendo ser utilizada como uma turbomáquina (máquinas rotativas), as TG possuem grande vantagem comparada com motores de combustão interna uma vez que nelas há ausência de movimentos alternativos e de atrito entre superfícies metálicas (pistão/camisa do cilindro). Há também um baixo consumo de óleo lubrificante (pois não entra em contato direto com as partes de temperatura mais elevada, nem com os produtos de combustão). Além disso, observamos outra vantagem: alta confiabilidade deste equipamento.

Outro aspecto positivo é a baixa inércia térmica que permite a obtenção da plena carga em tempo reduzido, o que torna as turbinas a gás indicadas para sistemas de geração de energia elétrica de ponta, onde o processo de partida e a necessidade de carga plena no menor tempo possível são essenciais (MARTINELLI JUNIOR, 2002).

Seu campo de aplicação é o mais variado e o mais amplo entre os diversos tipos de motores. Inicialmente foram desenvolvidas objetivando fornecimento de trabalho mecânico. Porém, seu desenvolvimento pleno ocorreu em virtude do seu uso como elemento propulsor na indústria aeronáutica. Enquanto fornecedores de trabalho mecânico, as turbinas a gás têm sido utilizadas, de maneira geral, como elemento propulsor para

navios, aviões, no setor automotivo, ferroviário e como acionador de estações “booster”¹ de bombeamento (oleodutos e gasodutos) assim como também na geração de eletricidade, principalmente, das centrais de ponta e sistema “standby” e em locais onde o peso e o volume são levados em conta como os casos das Plataformas “Offshore” de extração de petróleo. Também são usadas em locais remotos e de difícil acesso e instalação, pois sua alta confiabilidade aliada à simplicidade de operação permite inclusive que elas sejam operadas à distância (MARTINELLI JUNIOR, 2002).

Este trabalho tem como enfoque principal o uso das turbinas a gás para geração de energia elétrica nas Plataformas Offshore, o porquê do seu uso, apresentando suas vantagens e desvantagens, além de demonstrar os processos térmicos envolvidos, o seu funcionamento nos ciclos simples e combinado, a estrutura das turbinas a gás, a formação do conjunto turbogerador e o funcionamento do mesmo. As turbinas a gás são com certeza a melhor opção para geração de energia em Plataformas e isto será demonstrado durante a dissertação desta monografia.

¹ Booster: compressor com pequena relação de compressão, utilizado para aumentar a pressão em um sistema de gás.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 CONCEITOS BÁSICOS

Neste capítulo são descritos alguns conceitos fundamentais para o entendimento dos processos envolvidos na utilização das turbinas para geração de energia elétrica, e isso será feito de forma sucinta e simples, visando facilitar a compreensão no seguimento deste trabalho. Vamos às definições:

2.1.1 Calor

Calor é definido como sendo a forma de energia transferida, através da fronteira de um sistema a uma dada temperatura, a outro sistema (ou meio) numa temperatura inferior, em virtude da diferença de temperatura entre os dois sistemas.

2.1.2 Energia

É a quantidade de trabalho que um sistema é capaz de fornecer em um determinado período de tempo. A energia pode ser transformada ou transmitida de diferentes maneiras: a energia cinética do movimento das moléculas de ar pode ser convertida em energia cinética de rotação pelo rotor de uma turbina eólica, que por sua vez pode ser transformada em energia elétrica através de um gerador acoplado ao rotor da turbina.

2.1.3 Geração

O processo de geração de energia elétrica envolve a transformação de diferentes tipos de energia em energia elétrica. É um processo que acontece em duas etapas. Na primeira, uma máquina primária transforma diferentes tipos de energia (hidráulica, térmica, química, etc.) em energia cinética de rotação. Na segunda etapa um gerador elétrico transforma a energia cinética de rotação em energia elétrica (WEG INDÚSTRIA LTDA, 2010).

2.1.4 Cogeração

Segundo a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), “Cogeração de energia é definida como o processo de produção combinada de calor e energia elétrica, ou mecânica, a partir de um mesmo combustível, capaz de produzir benefícios sociais, econômicos ou ambientais. A atividade de cogeração contribui efetivamente para a racionalização energética, uma vez que possibilita maior produção de energia elétrica e térmica a partir da mesma quantidade de combustível.”

2.1.5 Termodinâmica

É a parte da física que estuda as leis que descrevem a troca de calor (energia) e o trabalho realizado em um processo físico qualquer.

2.1.6 Sistema

Chamamos de sistema à parte do universo que estamos interessados em estudar, e de meio ao restante do universo.

Na termodinâmica, um sistema se caracteriza por um conjunto de propriedades como energia, temperatura, pressão, volume e número de partículas presentes.

Os sistemas podem ser considerados fechados ou abertos.

Um sistema fechado, também designado por massa de controle, consiste numa quantidade fixa de massa, e não há transferência de massa através da fronteira. Isto quer dizer que em um sistema fechado não entra nem sai massa do sistema. No entanto, pode haver troca de energia e o volume não tem que, necessariamente ser fixo.

Um sistema aberto, ou volume de controle, é uma região escolhida de acordo com a conveniência técnica do problema a ser analisado. Pode haver troca de massa e energia entre o sistema e a vizinhança (meio). São exemplos desse tipo de sistema os equipamentos

que envolvem fluxo de massa tais como compressores, turbinas, aquecedor de água e outros.

2.1.7 Estado Termodinâmico

É o conjunto de valores das propriedades termodinâmicas de um sistema.

A sequência de estados termodinâmicos pelos quais um sistema passa ao ir de um estado inicial a um estado final é chamada de processo termodinâmico.

Os processos termodinâmicos são usualmente classificados em:

- Isovolumétricos ou isocóricos – o volume é constante;
- Isotérmicos – a temperatura é constante;
- Isobáricos – a pressão é constante;
- Adiabáticos – não ocorre troca de calor entre o sistema e o meio.

2.1.8 Trabalho

É a energia transferida de um corpo para outro devido a uma força que age entre eles.

2.2 A TURBINA

A turbina é um equipamento rotativo, que normalmente opera em regime permanente, dedicado a fornecer trabalho na ponta de eixo (ou potência).

O trabalho realizado na turbina é produzido a custa da queda de pressão do fluido de trabalho. Esses equipamentos podem ser agrupados em duas classes gerais: a formada pelas turbinas a vapor (ou outro fluido de trabalho), onde o vapor que deixa a turbina alimenta um condensador, em que o vapor é condensado até o estado líquido, e as turbinas a gás, em que o fluido normalmente é descarregado na atmosfera. A pressão de descarga de todas as turbinas é fixada pelo ambiente onde é descarregado o fluido de trabalho e a

pressão na seção de alimentação na turbina é alcançada com um bombeamento ou compressão do fluido de trabalho.

As turbinas a gás, que serão o tipo de turbina mais analisada neste trabalho podem ser consideradas turbomáquinas, pois são máquinas rotodinâmicas onde o fluido de trabalho se desloca continuamente em um sistema rotativo de pás (rotor), assim sendo fornece ou absorve a energia deste rotor, conforme sendo turbina ou compressor, respectivamente. Ela traz como uma característica marcante a grande velocidade do fluido de trabalho, que pode atingir de 200 a 500 m/s ou mais.

2.2.1 Histórico das Turbinas a gás

Primeiro, vamos ressaltar a semelhança entre as turbinas a gás e as turbinas a vapor, pois elas possuem uma história em comum e a idéia para ambas surgiram simultaneamente (GIAMPAOLO, 2006).

Em 130 antes de Cristo aproximadamente, um filósofo e matemático egípcio, Hero de Alexandria, inventou um brinquedo que rodava sobre uma pequena caldeira de água, esse brinquedo era o “Aeolipile”. Com isso ele verificou o efeito da reação do ar quente ou o vapor movimentando por alguns bocais sobre uma roda. Logo abaixo se observa uma imagem do invento de Hero.



Figura 1- O “Aeolipile” de Hero

Fonte: <http://modelengines.info>, acessado em 31/08/2010

Em 1232, os chineses descobrem a pólvora e com ela constroem os primeiros foguetes, usando de forma empírica o princípio da ação e reação.

Por volta de 1550, Leonardo da Vinci criou um dispositivo chamado por ele de “macaco de chaminé”, esse equipamento girava pelo efeito dos gases quentes subindo a chaminé. Ele inventou um dispositivo que usava o ar quente para girar um espeto, descrito a seguir (figura 2).

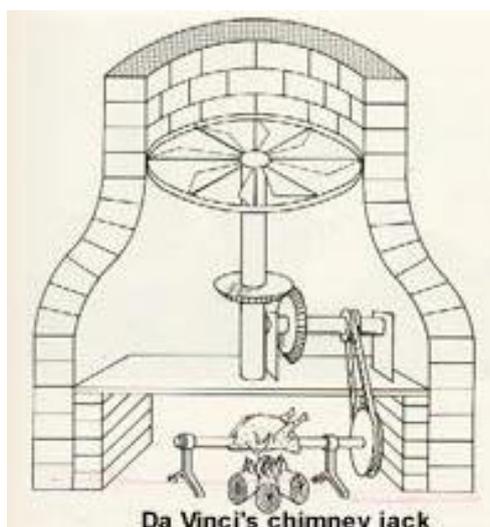


Figura 2- Macaco de chaminé de Da Vinci

Fonte: Martinelli Junior, 2002

Em 1629, o engenheiro italiano Giovanni Branca desenvolveu uma oficina de estampagem que utilizava jatos de vapor para girar uma turbina que então, cedia trabalho para o maquinário (figura 3).

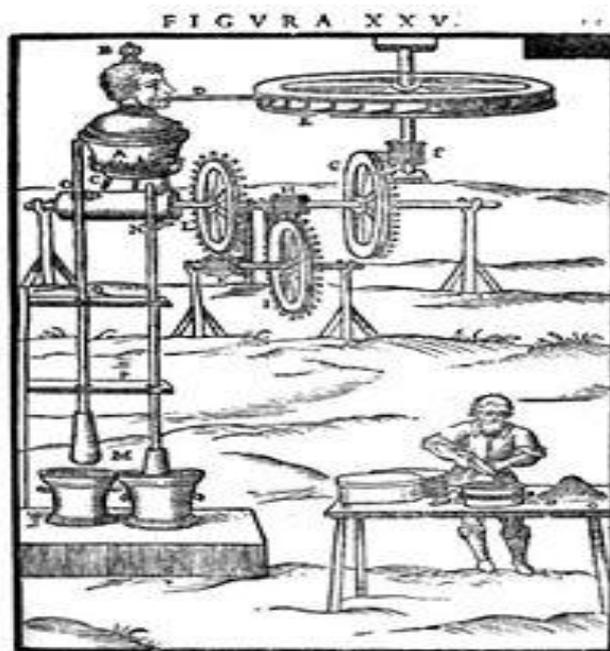


Figura 3- Turbina de Giovanni Branca

Fonte: <http://modelengines.info>, acessado em 31/08/2010

No ano de 1687, Isaac Newton anuncia as leis do movimento. Em especial a terceira lei de Newton que afirmava haver um equilíbrio entre ação e reação: “Para cada ação haverá uma reação de mesma intensidade e força, mas em sentido oposto”.

Com base nessas leis, Newton Vislumbrou um veículo movido através de jatos de vapor (figura 4). Estas leis formaram a base da teoria da propulsão moderna.



Figura 4- A carruagem de Isaac Newton

Fonte: Martinelli Junior, 2002

Em 1791, o inglês John Barber registrou a patente de um motor movido por uma turbina a gás (figura 5), utilizando o ciclo termodinâmico das modernas turbinas de gás. Embora projetado para ser um motor fixo para uso industrial, o aparelho empregava um gerador de gases constituído por compressor, câmara de combustão e roda de turbina, componentes estes que são fundamentais nas turbinas atuais. Todavia, este motor nunca foi fabricado, não deixando de constituir um mero projeto.

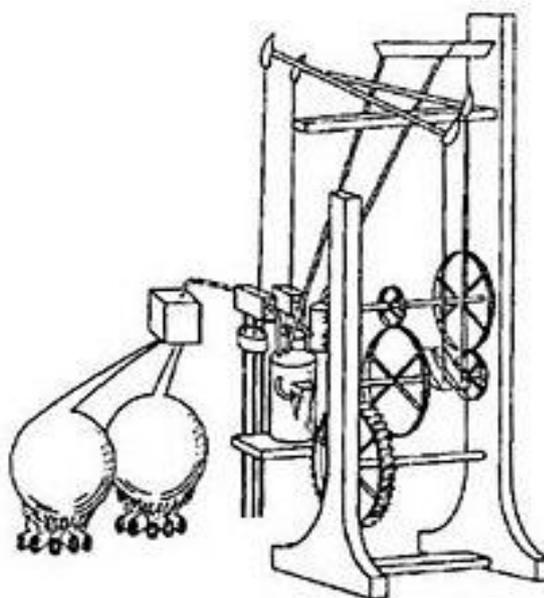


Figura 5- Turbina a gás de John Barber

Fonte: Martinelli Junior, 2002

No ano de 1808 John Dumball imaginou uma turbina multi-estágio. Infelizmente a idéia consistia apenas em mover as lâminas sem aerofólios fixos para transformar o fluxo em cada uma das fases posteriores. Tivesse ele percebido a necessidade de uma fase estacionária entre cada fase de rotação, estaria originado o conceito de uma turbina axial.

Em 1837, na França, Bresson teve a idéia de usar uma espécie de ventilador para movimentação do ar, misturado com um gás combustível e queimado. Estes produtos de combustão seriam resfriados por adição de mais ar, e este produto final foi usado para conduzir lâminas de uma turbina. Entretanto não existem provas de que esse dispositivo tenha sido alguma vez construído.

Dumball e Bresson consideraram em suas concepções todos os componentes das atuais turbinas com combustão a pressão constante. Porém a primeira turbina com essas características só foi realmente construída entre os anos de 1900 e 1904 por J.F. Stolze que a planejou anos antes (1872) combinando as idéias de Jonh Barber e John Dumball e não a construiu antes devido a falta de fundos para tal investimento. O equipamento (figura 6) foi testado durante quatro anos, mas nunca funcionou com efetividade.

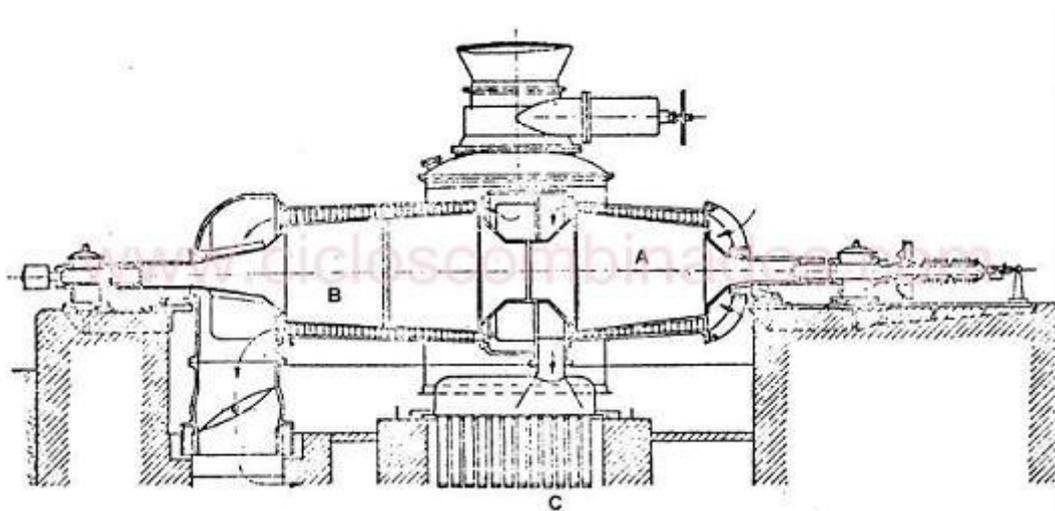


Figura 6- Turbina a gás desenvolvida por Stolze

Fonte: <http://www.renovetecingenieria.com>, acessado em 01/09/2010

O grande desenvolvimento dos estudos teóricos da termodinâmica a partir de meados do século XIX foi o que impulsionou o surgimento de melhores protótipos de turbinas.

Neste mesmo período, no início do século XX outras tentativas visando o desenvolvimento das turbinas ocorreram. Podemos citar: Armengaud e Charles Lemale, que em 1903 construíram e testaram em Paris uma turbina a gás com injeção de água para resfriamento, mas não conseguiram potência efetiva; a General Electric Co. também em 1903 iniciou o desenvolvimento de uma turbina a gás sob ajuda do Dr. Sanford A. Moss, que iniciou o assunto nos Estados Unidos;

Outros tentaram também desenvolver as turbinas a gás, mas sempre com baixos níveis de eficiência. O grande salto na evolução das turbinas ocorreu quando começaram a ser realizados testes para o uso de turbinas no ramo aeronáutico, isso foi iniciado pouco

antes da segunda guerra mundial. O seu baixo peso e pequeno volume foram as razões principais para tal investimento. O primeiro motor com essa finalidade de propulsão aeronáutica foi produzido por Frank Whittle (nascido em Earlsdon, distrito de Coventry, Warwickshire, West Midlands) em 1937, anteriormente (1930) Whittle já havia patenteado e concebido a utilização da reação ou jato como meio de propulsão.

Nesta mesma época o estudo da aerodinâmica também avançou muito, e com esta conjugação consolidassem o uso das turbinas a gás e acelerasse sua expansão e evolução significativamente. Nos anos 70 cerca de 100% dos aviões de grande porte já eram impulsionados por turbinas.

Com isso, a aplicabilidade das turbinas também foi aumentando, e elas começaram a ser utilizadas na área industrial. A primeira instalação é de 1949 em St. Denis, França, e atingia uma potência de 12,5MW (GIAMPAOLO, 2006).

Esse desenvolvimento veio até os dias atuais, e hoje as TG têm múltiplas utilidades e são usadas para propulsão aeronáutica, naval, na geração de eletricidade, acionamento de equipamentos e são utilizadas em ciclos combinados.

Nas Plataformas offshore, as turbinas a gás tem sido nos últimos anos a melhor opção nas plantas de geração de energia. As últimas plataformas da Petrobras construídas (P-51, P-52 e P-53) possuem turbinas da Rolls-Royce (tipo RB-211) nos módulos de geração de energia.

2.2.2 Os Processos envolvidos

Neste trecho do trabalho serão desenvolvidas definições dos ciclos pertencentes às turbinas a gás e a vapor, além de informações sobre o ciclo simples e combinado, pois também mostraremos o uso da cogeração para um melhor aproveitamento da energia nas plataformas.

2.2.2.1 Ciclo Brayton

O ciclo Brayton (figura 7) é um ciclo ideal, uma aproximação dos processos térmicos que ocorrem nas turbinas a gás, descrevendo variações de estado (pressão e temperatura) dos gases. O conceito é utilizado como base didática e para análise dos ciclos reais, que se desviam do modelo ideal, devido a limitações tecnológicas e fenômenos de irreversibilidade, como o atrito.

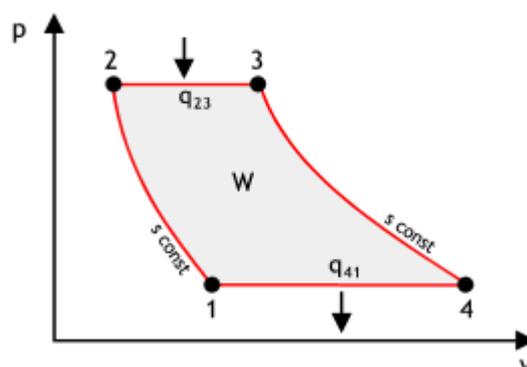


Figura 7- Diagrama pressão x volume do ciclo Brayton

Fonte: <http://www.mspc.eng.br>, acessado em 15/10/10

O ciclo se constitui de quatro etapas. Primeiramente, o ar em condição ambiente passa pelo compressor, onde ocorre uma compressão adiabática e isentrópica, com aumento de temperatura e conseqüente aumento de entalpia. Comprimido, o ar é direcionado às câmaras, onde se mistura com o combustível possibilitando queima e aquecimento, à pressão constante. Ao sair da câmara de combustão, os gases, à alta pressão e temperatura, se expandem conforme passam pela turbina, idealmente sem variação de entropia. Na medida em que o fluido exerce trabalho sobre as palhetas, reduzem-se a pressão e temperatura dos gases, gerando-se potência mecânica. A potência extraída através do eixo da turbina é usada para acionar o compressor e eventualmente para acionar outra máquina. A quarta etapa não ocorre fisicamente, se tratando de um ciclo termodinâmico aberto. Conceitualmente, esta etapa representa a transferência de calor do fluido para o ambiente.

Desta forma, mesmo se tratando de um ciclo aberto², parte da energia proveniente da combustão é rejeitada sob a forma de calor, contido nos gases quentes de escape. A rejeição de calor é um limite físico, intrínseco ao funcionamento de ciclos termodinâmicos, mesmo nos casos ideais, como define a segunda lei da termodinâmica.

A perda de ciclo ideal pode ser quantificada pela potência proveniente do combustível, descontando-se a potência de acionamento do compressor e a potência líquida. Assim, diminui-se a perda à medida que se reduz a temperatura de escape e se eleva a temperatura de entrada da turbina, o que faz da resistência, a altas temperaturas, das partes da turbina um ponto extremamente crítico na tecnologia de construção destes equipamentos.

Uma turbina a gás produz energia a partir do resultado das seguintes etapas contínuas do ciclo BRAYTON:

- Admissão
- Compressão
- Combustão
- Exaustão

Na figura 8 estão demonstradas as partes da turbina a gás.

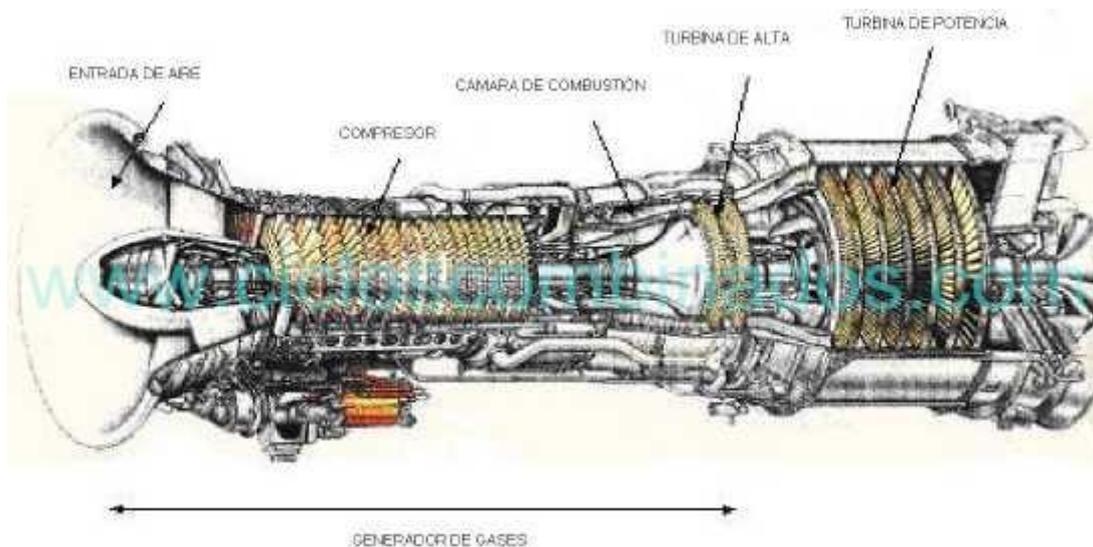


Figura 8- Partes da Turbina a gás

Fonte: <http://www.renovetecingenieria.com>, acessado em 01/09/2010

² O ciclo será discutido mais adiante

2.2.2.1.1 Admissão

O ar atmosférico é admitido passando por uma seção de filtragem normalmente de três estágios. O primeiro estágio de filtragem é do tipo inercial com uma tela de aço inoxidável e venezianas verticais com a finalidade de reter partículas maiores (insetos) e água proveniente de chuvas. O segundo estágio é composto por elementos do tipo manta de fibra sintética coalescedora extratora de névoa de alta eficiência com densidade progressiva. O terceiro estágio é composto por elementos tipo caixa ou multibolsa para a filtragem final de partículas finas (MARTINELLI JUNIOR, 2002).

2.2.2.1.2 Compressão

O ar é comprimido em um compressor dinâmico (axial ou centrífugo), normalmente do tipo axial de vários estágios onde a energia de pressão e temperatura do fluido (ar) é aumentada. O compressor de ar é o componente da turbina responsável pelo aumento da pressão do ar no ciclo Brayton e é acionado pela turbina do gerador de gás. O princípio de funcionamento do compressor axial é o da aceleração do ar com posterior transformação em pressão. É composto por uma seção estacionária, onde se encontram instalados os anéis com palhetas estatoras e a seção rotativa composta por um conjunto de rotores com palhetas montados em um eixo. Cada estágio de compressão é composto por um anel com palhetas estatoras e um rotor com palhetas. O rotor com palhetas é responsável pela aceleração do ar, como um ventilador. É nesta etapa que o ar recebe trabalho para aumentar a energia/velocidade. O anel de palhetas estatoras tem a finalidade de direcionar o ar para incidir com um ângulo favorável sobre as palhetas do próximo rotor e promover a desaceleração do fluxo de ar para ocorrer a transformação da energia de velocidade em aumento de pressão e temperatura (efeito difusor).

2.2.2.1.3 Combustão

Na câmara de combustão, 25% do ar comprimido e o combustível injetado a alta pressão promovem a mistura e queima a uma pressão praticamente constante.

As câmaras de combustão podem ser do tipo anular, tubular ou tuboanular. As câmaras do tipo tubular são normalmente utilizadas nas turbinas industriais de porte pesado e as câmaras do tipo anular são mais utilizadas nas turbinas industriais de porte leve. As turbinas aeroderivadas utilizam as câmaras do tipo tuboanular ou anular.

A ignição da mistura ar e combustível ocorre durante a partida, através de um ignitor e uma tocha quando aplicável. Posteriormente a combustão se auto-sustenta. Os gases gerados na combustão a alta temperatura são expandidos a uma alta velocidade através dos estágios da turbina geradora de gás que consiste de um conjunto rotor (eixo com rodas de palhetas) e as rodas estatoras com palhetas que promovem o efeito bocal e direcionam o fluido motriz (gases) para proporcionar um melhor ângulo de ataque nas palhetas das rodas da turbina, convertendo a energia dos gases em potência no eixo para acionar o compressor axial de ar e a turbina de potência.

2.2.2.1.4 Exaustão

Em um avião a jato os gases remanescentes da expansão na turbina passam através de um bocal para aumentar sua velocidade e conseqüentemente o impulso (propulsão). Na aplicação industrial os gases são direcionados para uma turbina de reação ou turbina de potência com um ou mais estágios (estator e rotor), onde a energia disponível dos gases é convertida em potência no eixo para acionar os compressores de gás. Finalmente os gases fluem para o duto de exaustão, onde sua energia remanescente pode opcionalmente ser aproveitada em um sistema de recuperação de calor (aquecimento de água).

2.2.2.2 Ciclo Rankine

O Ciclo Rankine é um ciclo termodinâmico, e descreve a obtenção de trabalho numa turbina a vapor. Deve seu nome ao matemático escocês William John Macquorn Rankine. A figura 9 mostra o diagrama temperatura x entropia desse ciclo.

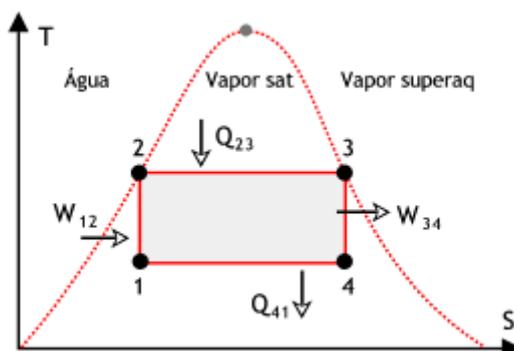


Figura 9- Diagrama temperatura x entropia do vapor d'água do ciclo Rankine

Fonte: <http://www.mspc.eng.br>, acessado em 15/10/10

Existem quatro processos num ciclo Rankine, cada um alterando as propriedades do fluido de trabalho (PANOSSO, 2003). Estas propriedades são identificadas abaixo:

- Primeiro, o fluido é bombeado (idealmente de forma isentrópica) de uma pressão baixa para uma pressão alta utilizando-se uma bomba. O bombeamento requer aporte de energia.
- O fluido pressurizado entra numa caldeira, onde é aquecido à pressão constante até se tornar vapor superaquecido. Fontes comuns de calor incluem carvão, gás natural (que nas plataformas podem e devem ser utilizadas como combustível das turbinas, já que em vários casos há um excesso de gás natural que pode ser aproveitado para esse fim) e energia nuclear.
- O vapor superaquecido expande através de uma turbina para gerar trabalho. Idealmente esta expansão é isentrópica. Com esta expansão, tanto a pressão quanto a temperatura se reduzem.

- O vapor entra num condensador, onde é resfriado até a condição de líquido saturado. Este líquido retorna à bomba e o ciclo se repete.

Enfim, basicamente o ciclo Rankine (figura 10) é semelhante ao ciclo Brayton, diferenciando-se pelo uso de gás formado pela evaporação de um líquido.

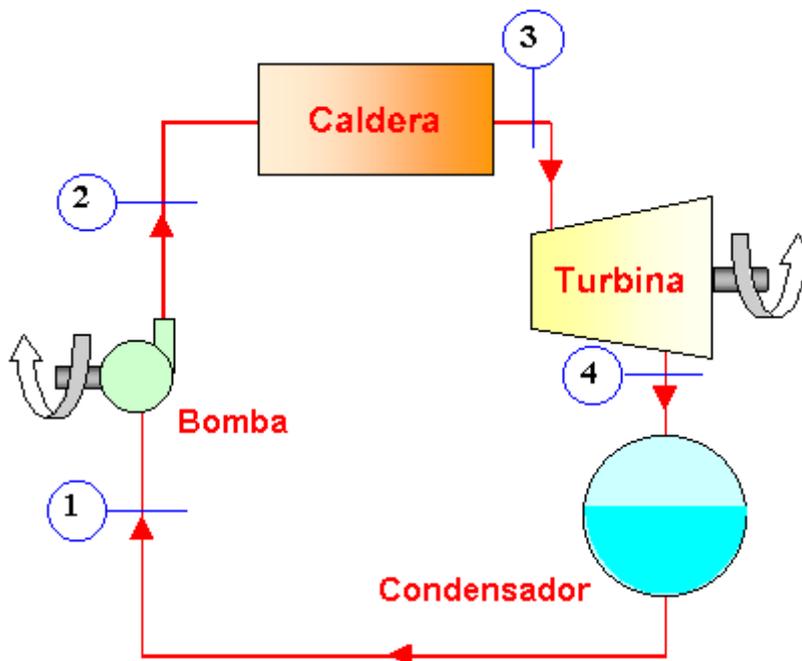


Figura 10-Descrição do ciclo Rankine

Fonte: <http://arceqamairani.blogspot.com>, acessado em 12/09/10

2.2.2.3 Ciclo simples e combinado

Num ciclo simples, a caldeira ou a turbina a gás operam isoladamente.

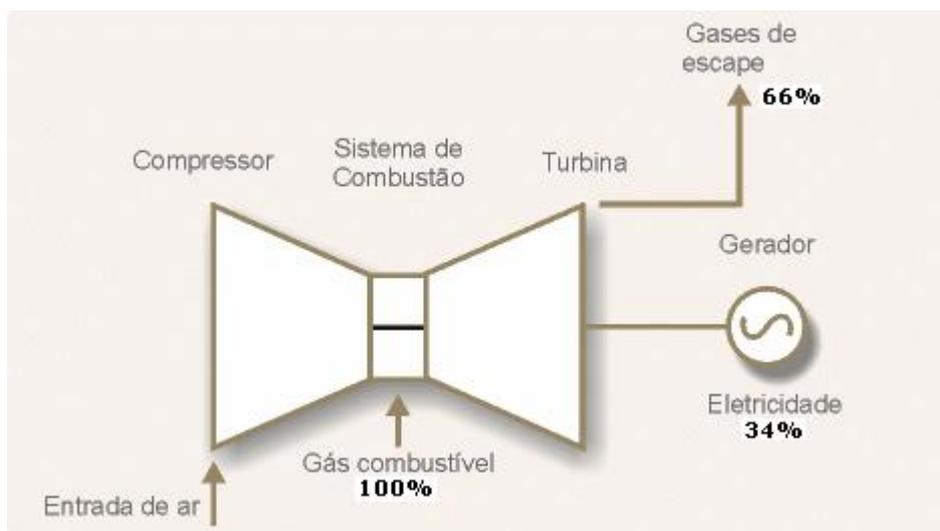


Figura 11- Descrição do ciclo simples

Fonte: <http://www.pantanalenergia.com.br>, acessado em 28/09/10

Como demonstra os dados da figura 11 onde de 100% da utilização de gás combustível 66% se tornam gases de escape e apenas 34 % é convertido em energia elétrica, a utilização do ciclo combinado e da cogeração da energia elétrica torna-se importante para um maior aproveitamento do combustível e a redução de custos.

Para o ciclo combinado os dois sistemas interagem (Brayton e Rankine), configurando o que se chama de CCPPs (*Combined Cycle Power Plants*).

Ciclo combinado usa o emprego de mais de um ciclo térmico em uma planta de geração de energia elétrica. O chamado ciclo combinado faz uso do vapor liberado pelas turbinas a baixa temperatura e pressão, assim como o processo de cogeração, porém com uma eficiência menor que este, mas com certeza mais eficientes que o sistema de geração convencional (PANTANAL ENERGIA, 2010).

No ciclo combinado (CCPPs) temos como principais componentes a turbina a gás, o recuperador de calor³ (HRSG) e a turbina a vapor.

O uso efetivo do processo de cogeração da energia ou do ciclo combinado é muito importante, pois aumenta a eficiência do processo, diminui a emissão de gases com alto teor de carbono e reduz custos na Plataforma, além disso, o gás natural em excesso das

³ As CCPPs têm como um dos seus principais elementos um gerador de vapor (caldeira) capaz de recuperar parte do calor dos gases de exaustão das turbinas a gás (HRSG – Heat Recovery Steam Generator)

plataformas é um ótimo combustível a ser utilizado, pois também reforça as vantagens econômicas e de redução dos poluentes.

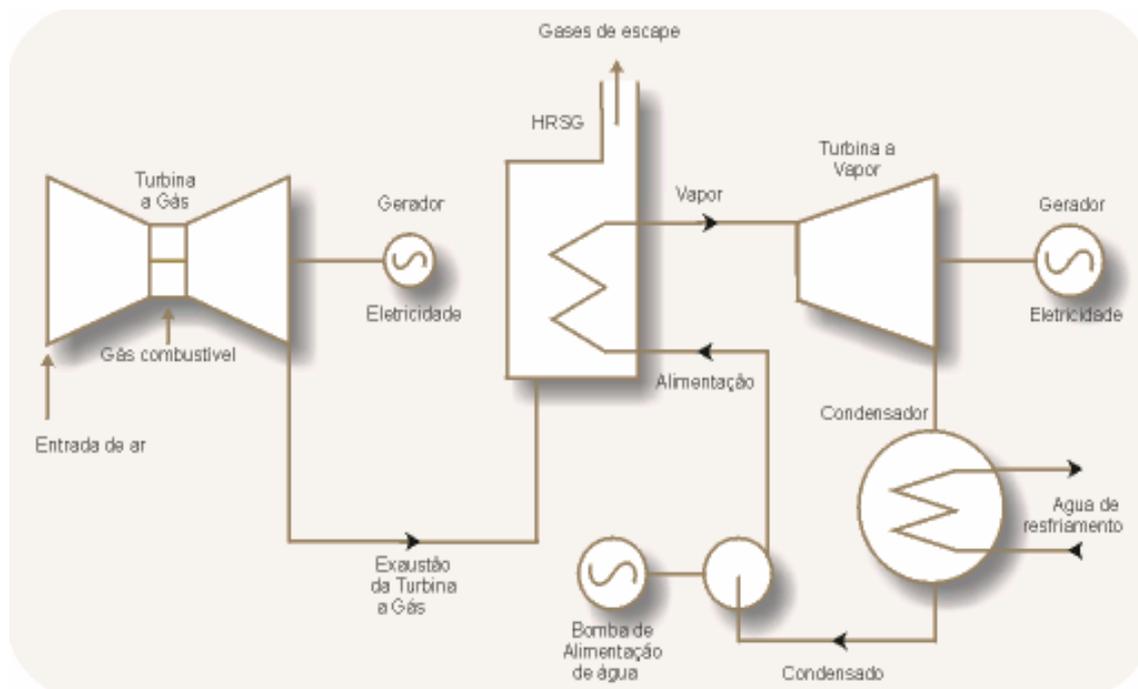


Figura 12- Ciclo combinado Brayton e Rankine

Fonte: <http://www.pantanalenergia.com.br>, acessado em 28/09/10

2.2.2.4 Ciclos aberto e fechado

As turbinas operam em Ciclo aberto ou Ciclo fechado.

No Ciclo aberto (figura 13), o fluido de trabalho não retorna ao início do ciclo. O ar, retirado da atmosfera, é comprimido, levado à câmara de combustão onde, juntamente com o combustível, recebe uma faísca, provocando a combustão da mistura. Os gases desta combustão então se expandem na turbina, fornecendo potência à mesma e ao compressor, e, finalmente, saem pelo bocal de exaustão.

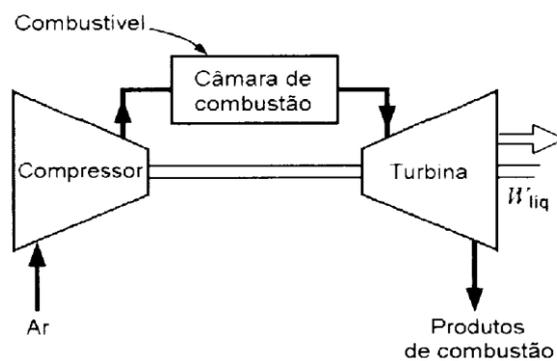


Figura 13- Ciclo Aberto

Fonte: Martinelli Junior, 2002

Já no dito Ciclo Fechado (figura 14), o fluído de trabalho permanece no sistema. Para isso, o combustível é queimado fora do sistema, utilizando-se um trocador de calor para fornecer a energia da combustão ao fluído de trabalho.

O ciclo fechado possui algumas vantagens sobre o ciclo aberto, dentre elas:

- A possibilidade de se utilizar combustíveis sólidos;
- A possibilidade de altas pressões em todo o ciclo, reduzindo o tamanho da turbomáquina em relação a uma potência requerida;
- Evita-se a erosão das palhetas da turbina;
- Elimina-se o uso de filtros;
- Aumento da transferência de calor devido a alta densidade do fluído de trabalho (alta pressão);
- Uso de gases com propriedades térmicas desejáveis.

Mas este ciclo tem como desvantagem a necessidade de investimento em um sistema externo de aquecimento do fluído de trabalho, envolvendo um ciclo auxiliar com uma diferença de temperatura entre os gases.

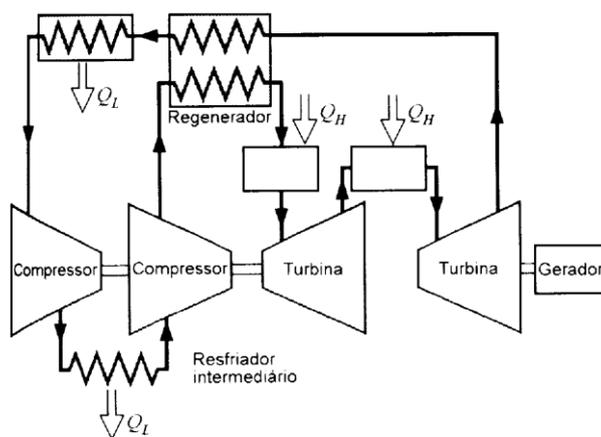


Figura 14- Ciclo Fechado

Fonte: Martinelli Junior, 2002

2.3 O SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

O sistema de geração é formado pelos seguintes componentes: Máquina primária, geradores, transformador e sistema de controle, comando e proteção (WEG INDÚSTRIA LTDA, 2010).

2.3.1 Máquina Primária

É a máquina que faz a transformação da energia contida no combustível em energia mecânica de rotação para ser aproveitada pelo gerador. Nas plataformas petrolíferas, normalmente é utilizada a turbina a gás para transformar a energia liberada pela combustão do gás natural em energia mecânica na ponta do eixo, e também a possibilidade do uso de motores diesel para executar esta tarefa.

As principais máquinas primárias utilizadas hoje são motores diesel, turbinas hidráulicas, turbinas a vapor, turbinas a gás (mais usadas nas plataformas) e eólicas.

2.3.2 Geradores

São os geradores que transformam a energia mecânica de rotação das máquinas primárias em energia elétrica. Depois da escolha do tipo de gerador que será utilizado no sistema é definida a máquina primária com a potência adequada. Além da potência, o tipo de máquina (eólica, a gás, hídrica, etc.) define também a velocidade de rotação que irá ser transmitida ao gerador e, em função dessa velocidade é definido o número de pólos do gerador e no caso de acionamentos através de máquinas primárias com rotações maiores que 3600 rpm, será necessária a utilização de redutoras de velocidade.

2.3.3 Transformadores

Uma vez gerada a energia elétrica, existe a necessidade de se compatibilizar o nível da tensão de saída com a tensão do sistema ao qual o grupo gerador será ligado. O equipamento utilizado para se elevar ou rebaixar o nível de tensão é o transformador. Desta forma um grupo gerador que gera energia a uma tensão de 13.8kV pode ser ligado a uma linha de transmissão de 69 kV desde que um transformador de 13,8/69 kV faça o ajuste da tensão.

2.3.4 Controle, comando e proteção

Para interligar um grupo gerador a uma rede de transmissão ou distribuição são necessários vários requisitos. Em primeiro lugar, a tensão de saída do gerador não pode variar mais que 10 % para cima ou para baixo. O controle da tensão é feito através da excitatriz do próprio gerador. No entanto, não basta apenas compatibilizar a tensão. É necessário que se faça o sincronismo com a rede antes de comandar o fechamento da linha. Para que estas medidas sejam tomadas, são necessários vários equipamentos de manobra e

proteção, tais como TC's, TP's⁴, relés e disjuntores. O quadro de comando e proteção reúne todos estes equipamentos, e permite ao operador supervisionar o funcionamento do sistema e atuar imediatamente caso se faça necessário.

A frequência do sistema elétrico é a variável mais importante e a mais difícil de ser controlada. Para que o sistema de geração funcione corretamente, é necessário que a frequência de tensão de saída do gerador seja constante e de acordo com o sistema elétrico da região em que se encontra. Por exemplo, no Brasil a frequência de operação do sistema elétrico é de 60 Hz, e o sistema de geração de energia elétrica do Paraguai é de 50 Hz. Esta frequência é a função da rotação do gerador, portanto o gerador deve funcionar sempre em uma rotação fixa, que é aplicada pela máquina primária. Portanto ela depende da velocidade de rotação da máquina primária. Cabe ao sistema de controle atuar nos reguladores de velocidade das máquinas primárias e assim garantir uma frequência fixa da tensão na saída do gerador.

A potência elétrica de saída do gerador é diretamente proporcional a potência mecânica transmitida pela máquina primária através do eixo. Sabemos que a potência mecânica na ponta do eixo de uma máquina girante é diretamente proporcional ao produto da velocidade de rotação e o torque na ponta de eixo:

$$P = k \cdot C \cdot n$$

Onde k é uma constante de proporcionalidade.

Portanto, se o gerador precisar entregar mais potência para o sistema devido a um aumento súbito de carga, a máquina primária precisa aumentar o torque transferido ao gerador, uma vez que a rotação deve-se manter constante.

Algumas das principais diferenças entre os turbogeradores e os hidrogenadores é a velocidade de rotação e o momento de inércia da parte girante. Nos hidrogenadores a velocidade de rotação é normalmente bem mais baixa e o momento de inércia bem maior do que nos turbogeradores, uma das consequências desta diferença é a de que os turbogeradores necessitam de sistema de controle de tensão e controle da velocidade de

⁴ TC's: Transformadores de Corrente

TP's: Transformadores de Potência

rotação da máquina primária mais confiável e mais rápido do que os hidrogeradores, pois uma perturbação na carga requer uma adaptação rápida e precisa do sistema de geração.

2.4 A UTILIZAÇÃO DAS TURBINAS NAS PLATAFORMAS

O sistema de turbogeração é importante tanto para a sustentação da vida a bordo como também para o funcionamento industrial da plataforma. Além disso, diversos sistemas de segurança dependem do correto suprimento de eletricidade, portanto a geração de energia elétrica é o coração das plataformas, já que sem energia, não há possibilidade de funcionamento de nenhum dos equipamentos necessários para a exploração/exploração do petróleo (bombas, equipamentos de controle, medidores, etc.). Sendo uma atividade vital na plataforma, deve ser monitorado todo o tempo, incluindo manutenções frequentes.

As turbinas utilizadas nas plataformas marítimas de produção de petróleo tem potência de 15 MW a 25 MW e rotação de 12 a 20 mil rpm (AVELINO, 2008). Na figura 15 é mostrada uma representação esquemática exemplificando um sistema de geração de energia elétrica que pode ser usado em uma plataforma, dependendo da capacidade requerida pela mesma.

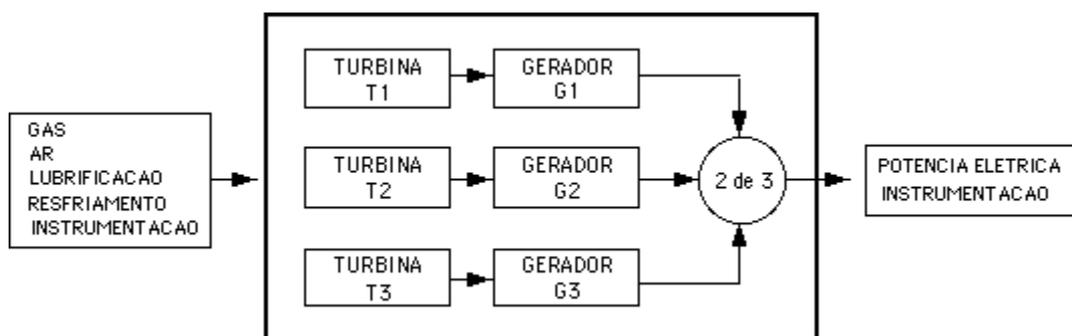


Figura 15- Exemplo de formação de um sistema de geração de energia elétrica em uma plataforma

Fonte: AVELINO, 2008

Nessa configuração, dissertada na tese de doutorado de José Alberto Avelino da Silva (2008), o sistema é composto de três turbinas a gás acopladas em série a geradores de corrente alternada, como mostra a figura 15 acima. Os três conjuntos turbogeradores estão

conectados em paralelo, e para atender à potência requerida pela carga da plataforma apenas dois turbogeradores são suficientes, assim o terceiro fica como reserva. A utilização de uma máquina reserva é muito importante, afim de evitar eventuais falhas do sistema. Em algumas plataformas esse sistema reserva é feito com motores diesel e não com turbinas a gás, dependendo do projeto, das especificações requeridas e peculiaridades da plataforma em que o sistema será implantado.

A figura 16 reforça o esquema de funcionamento das turbinas a gás, e o ciclo de Brayton também é revisto.

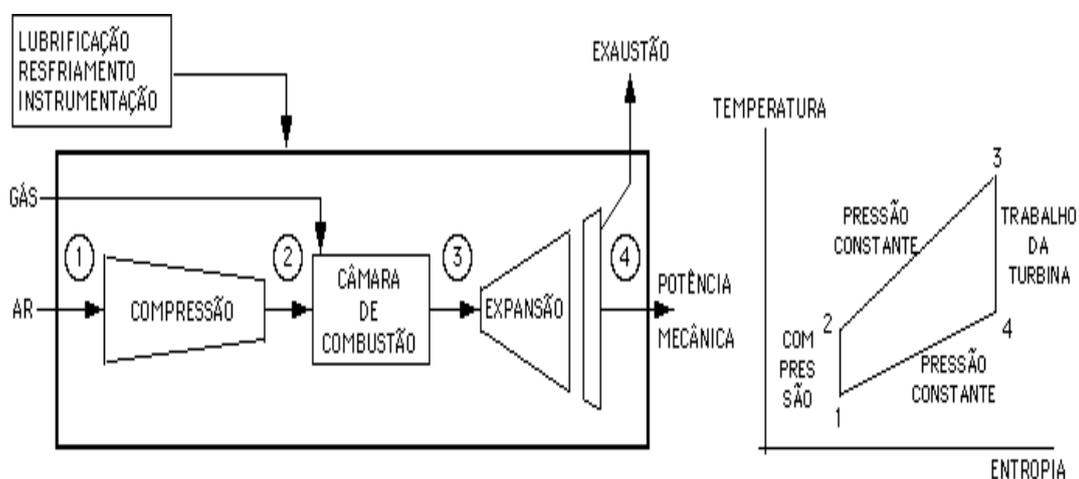


Figura 16- Diagrama esquemático de uma turbina a gás. O gráfico à direita é o ciclo ideal de Brayton que descreve, de modo simplificado, a operação de uma turbina a gás

Fonte: AVELINO, 2008

A potência elétrica utilizada nas plataformas geralmente é produzida no próprio local, embora, às vezes, seja utilizada a energia excedente de outra plataforma, transmitida por cabos submarinos.

O gerador é acoplado à turbina por meio de uma caixa de redução de velocidades porque a rotação da turbina é de 5 a 10 vezes maior que a do gerador. Como a geração é trifásica em 13,8 kV, a saída da potência elétrica passa por um transformador abaixador para a tensão de consumo, que é de 440 Volts (AVELINO, 2008).

A figura 17 demonstra as fases depois da geração de potência mecânica feita pela TG até a formação da energia elétrica, passando pela caixa de redução, o gerador, disjuntor e o transformador.

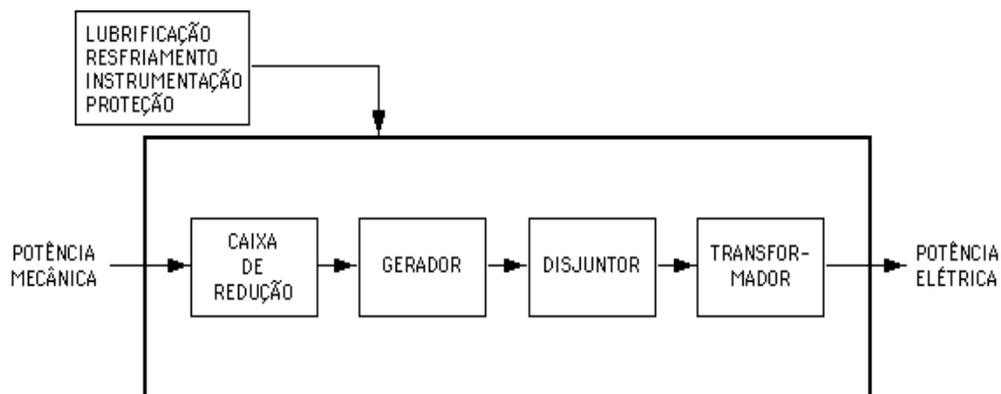


Figura 17- Arranjo do gerador e dos periféricos que compõem a geração de eletricidade

Fonte: AVELINO, 2008

As máquinas de um mesmo sistema de turbo-geração não precisam ser iguais. Entretanto, devido ao fato de que os processos relativos ao projeto da instalação, especificação e aquisição dos equipamentos serem na prática realizada apenas em uma etapa, as máquinas resultam idênticas na maioria das vezes (AVELINO, 2008).

No Brasil praticamente todas as plataformas da Petrobras tem turbinas gás, no seu sistema de geração de energia elétrica fazendo uso principalmente das turbinas da Rolls-Royce. As plataformas P-51, P-52 e P-53 usam a turbina do tipo RB 211. Segundo o Jornal do Comércio do dia 04/01/2006, já naquela época a Rolls-Royce contava com total de 23 conjuntos geradores de energia em sua carteira de pedidos da Petrobras, o que garantia uma receita superior a US\$ 280 milhões. Provavelmente nos dias atuais esse número deve ser maior.

Também nessa data o Jornal do Comércio (2006) informara que a empresa (Rolls-Royce) tinha mais de 530 turbinas industriais a gás operando em alto-mar em 32 países, números que também devem ter aumentado consideravelmente até hoje.

Como informação, o módulo de geração da plataforma P-51 é composto por 4 turbinas Rolls-Royce RB 211 de 30 MW e 4 geradores WEG SPW1120. Todos os geradores com tensão de 13,8kV e potência de 31.250 KVA, trabalhando numa velocidade de 1800 rpm e são acionados por turbinas a gás (JORNAL DO COMÉRCIO, 2006).

Mostrando a importância das turbinas e seu amplo uso a Rolls-Royce lançou recentemente mais um modelo de sua família de turbinas industriais RB 211, a H63 (figura

18), ela é uma turbina de 44MW que gerará pelo menos mais 30% de potência, de forma mais eficiente que os anteriores⁵.

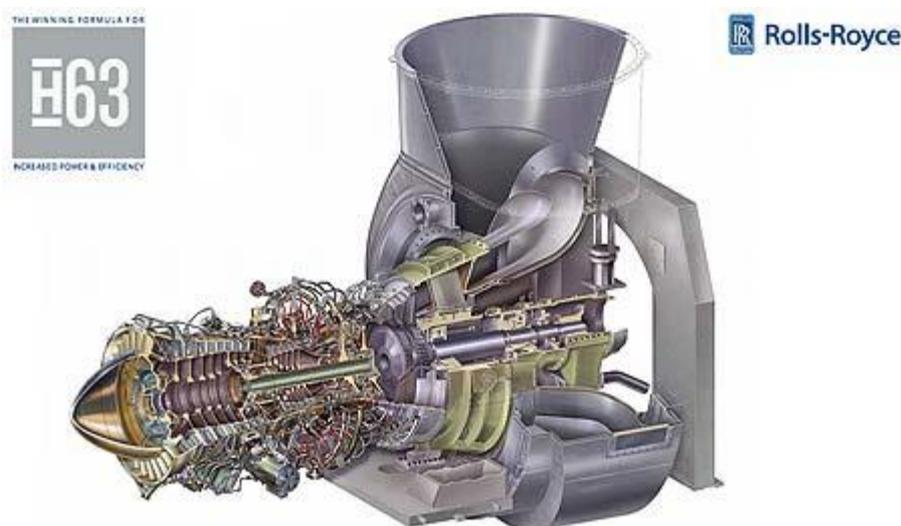


Figura 18- Turbina Rolls-Royce RB 211 modelo H63

Fonte: www.blogmercante.com, acessado em 02/11/10

Desenvolvida através da tecnologia dos motores aeronáuticos, a H63 trará significativos benefícios operacionais e ambientais para os clientes.

A H63 dará a seus operadores 11MW de potência adicional, maior eficiência em termos de combustível e flexibilidade operacional. Combinadas, essas três características gerarão para as plataformas um lucro de US\$ 2 milhões proveniente da renda adicional de US\$ 7 milhões derivada da maior capacidade de geração de energia elétrica.

Segundo informações da Rolls-Royce os benefícios na geração de energia elétrica na indústria de petróleo e gás trazem um aumento de potência acima de 13 %.

Esse desenvolvimento sempre tem como objetivo a melhoria da confiabilidade, facilidade de manutenção, rápida instalação e ao mesmo tempo ter maiores níveis de eficiência e potência.

Além disso, o diretor do produto RB 211 declarou: “Com versões do RB 211 agora disponíveis numa faixa de potência de 29 MW a possíveis 50 MW e modelos industriais do

⁵ www.blogmercante.com, acessado em 02/11/10

Trent gerando de 51MW a 64MW em ciclo simples e até 107MW em ciclo combinado, a Rolls-Royce dispõe de uma ampla linha de turbinas a gás de alta eficiência para atender requisitos operacionais dos clientes em situações de pico ou de carga básica normal”. Essa declaração do diretor nos mostra a faixa de potência muito elevada que essas turbinas podem alcançar, chegando a 107MW no ciclo combinado podendo atender grandes parques industriais.

Os recentes avanços na produção de gás natural levam a maioria dos analistas a projetar que haverá um amplo suprimento deste combustível a preços razoáveis por um bom tempo. Juntamente com o fato que esse combustível emite menos dióxido de carbono do que outros combustíveis fósseis, isso significa que operadores de energia elétrica num ambiente com limitações de carbono deverão levar em consideração estações de geração que utilizem gás, assim como foi ressaltado anteriormente, as plataformas com excesso de gás natural se beneficiam bastante.

O site www.blogmercante.com (2010) também traz dados atualizados do uso dos produtos da Rolls-Royce com a Petrobras, são 27 pacotes de geração de energia acionados por turbinas a gás RB 211 para serviços offshore. Quando todos os 27 pacotes estiverem operando em 2010, os motores da Rolls-Royce instalados nas plataformas vão fornecer energia para produzir mais de 40% de todo petróleo brasileiro, número significativo.

Como informações complementares, a nova turbina a gás H63 chegará ao estágio de carga total em dez minutos a partir de uma partida a frio, e será capaz de mudar de combustível líquido para gás e vice-versa em todos os níveis de potência, sem qualquer interrupção na carga.

Além disso, seu baixo peso, projeto compacto e pequeno espaço ocupado a tornam uma máquina ideal para estruturas “offshore” como embarcações FPSO (Floating Production, Storage and Offloading), nas quais pode ser usada para aplicações tanto de geração de energia como de acionamento mecânico, reforçando a idéia desenvolvida nesta dissertação e que contempla todas as vantagens da turbinas a gás.

2.5 AS TURBINAS A GÁS NA GERAÇÃO DE ENERGIA DE UM FPSO

As turbinas a gás são as mais utilizadas como máquinas motrizes na geração de energia elétrica nos diversos tipos de plataformas petrolíferas. Para evidenciar sua importância, será demonstrado o que é necessário para a alimentação elétrica de um FPSO (figura 19).

A eletricidade, além de alimentar os diversos sistemas que existem a bordo de uma plataforma, significa vida. Portanto, os sistemas de geração e distribuição de energia elétrica são necessidades primordiais e básicas a bordo, pois sem sua existência, nada poderia funcionar nos diversos sistemas de produção de petróleo.



Figura 19-FPSO em operação

Fonte: www.siemens.com/energy, acessado em 30/11/10

Um FPSO possui algumas necessidades essenciais que o sistema elétrico de geração e distribuição deve atender. Pode-se citar: os motores, parte auxiliar, máquinas de convés, equipamentos submarinos, instalações de produção, cozinha, produção de água potável, acomodações, luzes interiores e exteriores, ventilação, ar-condicionado, frigoríficas, aquecimento elétrico, sistemas sanitários e diversos tipos de bombas, além dos sistemas de produção de petróleo, que em última instância é a sua atividade fim. Pode-se notar que não é pouca coisa que precisa ser atendida, portanto esse sistema tem de ser muito eficiente e uma falha pode causar grandes transtornos.

Os equipamentos necessários para atender os requisitos são os motores principais, auxiliares, de emergência, com seus respectivos geradores acoplados, painéis de distribuição, transformadores, equipamentos de sincronização e transferência de barramentos e toda a aparelhagem para o controle dos geradores e distribuição de energia.

As acomodações do FPSO são projetadas na maioria dos casos para atender uma tripulação de 20 homens. Tudo deve seguir as normas das classificadoras, o que garante a segurança da embarcação.

Com relação aos motores principais observa-se nas usinas geradoras de energia pelo menos dois conjuntos geradores de serviço, uma em operação e outra em stand-by. Já o gerador deve ser dimensionado para suportar pelo menos 125 % da carga total de pico, isso para atender os requisitos de fator de segurança, uma carga ocasional de equipamentos de alta tensão e ainda fornece espaços para cargas adicionais que podem ser futuramente adicionadas.

As máquinas motrizes – motores - utilizados são duas turbinas a gás (além da Rolls-Royce, General Electric, Siemens e outras empresas fabricam esses equipamentos) devido à disponibilidade de gás natural advindo da produção de petróleo, por ser leve e compacta e deixar assim um espaço a mais para equipamentos de produção e armazenamento de petróleo. Na figura 20 é vista uma turbina da Siemens sendo instalada.

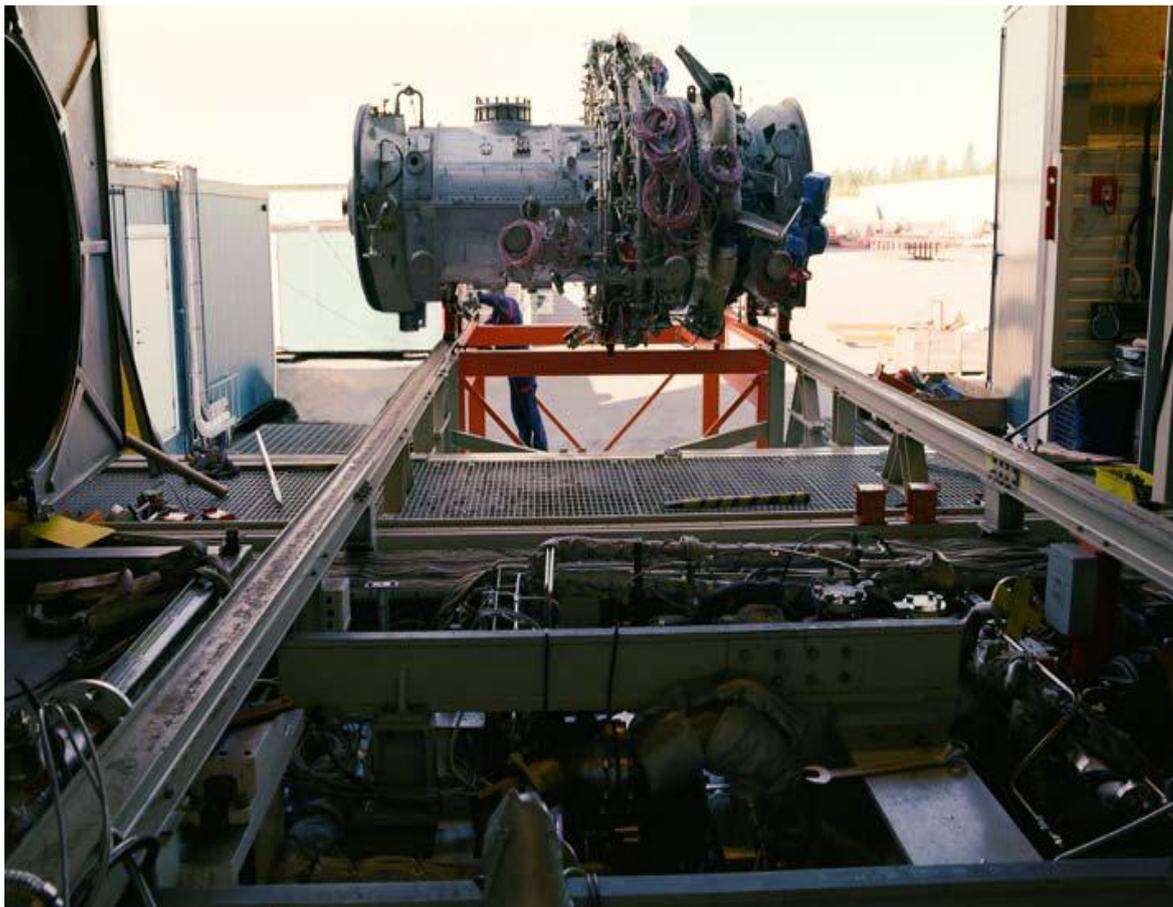


Figura 20- Turbina Siemens sendo instalada em um FPSO

Fonte: www.Siemens.com/energy, acessado em 30/11/10

Os geradores auxiliares funcionarão em caso de falha dos turbogeradores principais, como são chamados os grupo turbina – gerador. Estes Geradores deverão ser capazes de alimentar os sistemas essenciais e o hotel, não fornecendo energia para os equipamentos do processo. As máquinas motrizes para os geradores auxiliares são na maioria das vezes motores diesel. Assim como na parte principal, deverão existir pelo menos dois conjuntos de geração, um em funcionamento e um em stand-by que também deverão ser dimensionados para suportar como o sistema principal 125% da carga de pico (AMERICAN BUREAU OF SHIPPING, 2009).

O Sistema de geração de emergência é projetado para fornecer automaticamente energia elétrica caso o FPSO perca o poder de serviço. Ele garante os elementos críticos para a tripulação e fornece a potência necessária para que os geradores principais voltem a funcionar. Tem responsabilidade sobre os sistemas de refrigeração e ventilação.

Segundo a classificadora American Bureau of Shipping (ABS) o sistema de emergência deve atender por pelo menos 18 horas os seguintes sistemas: sistema de detecção de incêndios, detecção de gás, comunicação, paginação e alarme, iluminação de emergência, ajudas à navegação e uma bomba de incêndio com carga total.

3. CONCLUSÃO

As Turbinas a gás são máquinas extraordinárias e complexas, como foi visto. Seu uso nas plataformas petrolíferas está consolidado não só nas unidades de produção da Petrobras, mas em todas as empresas do ramo. Grandes empresas como Rolls-Royce, General Electric e Siemens dominam o mercado que deve acirrar-se ainda mais com a descoberta da camada Pré-sal na costa brasileira trazendo necessidade da realização de investimentos gigantescos para a área.

A disputa entre essas empresas faz aumentar a velocidade de evolução das turbinas aeroderivativas no uso naval tanto na propulsão quanto na geração de energia elétrica.

As plataformas de petróleo têm no sistema de geração de energia seu coração, tamanha a sua importância no funcionamento das embarcações e na produção de petróleo. Demonstrou-se que, devido às suas características, as turbinas a gás são as máquinas primárias que melhor se adaptam para desempenhar a função de motor principal no conjunto gerador de energia, compondo com os motores diesel que podem funcionar em funções auxiliares do sistema de geração de energia elétrica.

Além disso, há a oportunidade do uso da cogeração de energia elétrica com a utilização conjunta de turbinas a vapor, aumentando consideravelmente a eficiência do sistema. A existência de gás natural disponível em larga escala a bordo das plataformas, também é um motivo para que se usem as TG ao invés dos outros tipos de motores. Seu peso e ocupação reduzida de espaço comparado com o motor diesel é uma vantagem adicional, principalmente nas plataformas que possuem grande quantidade de equipamentos instalados e pouco espaço disponível.

Sua grande capacidade de gerar potência e seu baixo peso traz a tona o conceito de potência específica que é a potência gerada por unidade de massa ($W \cdot kg^{-1}$). A potência específica das TG é bem superior aos dos outros motores de combustão.

A manutenção das TG é mais fácil se comparada com os outros tipos de motores, além das horas de utilização sem problemas serem mais elevadas.

O número de vantagens das TG justifica seu uso de forma contínua nas plataformas de exploração/exploração trazendo lucros ao investimento feito nas mesmas de forma segura.

Assim, por todos os motivos apresentados neste Trabalho de Conclusão de Curso, as turbinas a gás são a melhor alternativa na montagem e configuração dos sistemas de geração de energia nas plataformas offshore.

Esse trabalho definiu e mostrou porque as turbinas a gás são amplamente utilizadas nas plataformas marítimas, através de suas vantagens comparadas com outros equipamentos que exercem a mesma função.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMAIRANI, A. Q. **Descrição do Ciclo Rankine.** Disponível em <<http://arceqamairani.blogspot.com/2009/11/ciclo-rankine.html>> acessado em 12/09/2010

AMERICAN BUREAU OF SHIPPING. **ABS Guide for building and classing facilities on offshore installations.** 2009. Houston. 212p

AVELINO, J. A. **Modelagem e avaliação de extensão da vida útil de plantas industriais:** Estudo de caso: Geração elétrica em Plataformas Marítimas de Produção de Petróleo. 2008. 160p. Tese (Doutor em Modelagem computacional), Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Nova Friburgo, 2008. Orientador: Roberto Aizik Tenenbaum

BARROS, P. **A turbina a gás de Giovanni Branca.** Disponível em <<http://www.librosmaravillosos.com/lifemaquinas/capitulo06.html>> acessado em 31/08/2010

BENTLEY, J. R. **The Aeolipile:** A Replica of the World's First Rotating Steam Engine. Disponível em <<http://modelengines.info/aeolipile>> acessado em 31/08/2010

BIDDART, B. **Rolls-Royce lança turbina a gás mais potente.** Disponível em: <www.blogmercante.com/Rolls-Royce%20lan%C3%A7a%20turbina%20industrial%20a%20g%C3%A1s%20mais%20potente%20%20BlogMercante%20-%20Navegar%20%C3%A9%20preciso.htm> acesso em 2/11/2010

CORRÊA NETO, V. **Análise da viabilidade da cogeração de energia elétrica em ciclo combinado com gaseificação de biomassa de cana-de-açúcar e gás natural**. 2001. 194p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético), Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE), 2001. Orientador: Mauricio Tiomno Tolmasquim

GIAMPAOLO, A. **Gas Turbine Handbook: Principles and Practices**. 2006. 3rd ed. USA. 427p

MARTINELLI JUNIOR, L. C. **Máquinas Térmicas II**. 2002. Panambi. 135p.

MSPC. **Ciclo Brayton:** Introdução. Disponível em <http://www.mspc.eng.br/termo/termod0530.shtml> > acessado em 15/10/2010

MSPC. **Ciclo Rankine:** Introdução. Disponível em <http://www.mspc.eng.br/termo/termod0540.shtml> > acessado em 15/10/2010

PANOSSO, G. C. **Métodos de Simulação para ciclos de Rankine**. 2003. 119p. Dissertação (Mestrado em fenômenos do Transporte), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. Orientador: Paulo S. Schneider

PANTANAL ENERGIA. **Operação:** Turbina a gás, caldeira de recuperação. Disponível em <http://www.pantanalenergia.com.br/framestructure.asp?operation.asp> > acessado em 28/09/2010

PINHEIRO, K. F. **Gerenciamento de produtos químicos em unidades de geração de energia offshore:** Uma aplicação da metodologia seis sigma. 2003. 83p. Dissertação

(Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003. Orientador: Ubirajara A. de Oliveira Mattos

RENOVETEC. **A Turbina a gás:** Ciclos Combinados. Disponível em <<http://www.renovetecingenieria.com/cicloscombinados/turbinasgas.html>> acessado em 31/08/2010

SIEMENS. **Power on board:** Gas turbine modules for FPSO's (Floating Production, Storage and Offloading vessels). 4p.

SIEMENS. **Power on Board:** Gas Turbine modules for FPSO's (Floating Production, and Storage Offloading vessels). Disponível em <www.siemens.com/energy> acessado em 30/11/2010

WEG INDÚSTRIA LTDA. **Centro de treinamento de clientes:** Módulo 4/ Geração de energia. 314p

