

**INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
FLUMINENSE**

Secretaria de Educação
Profissional e Tecnológica

Ministério
da Educação



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
MODALIDADE PROFISSIONAL**

**DISSERTAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA
AMBIENTAL**

**POSSIBILIDADE DE OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE GERAÇÃO ELÉTRICA DE
PLATAFORMAS MARÍTIMAS DA BACIA DE CAMPOS E AVALIAÇÃO DO
EFEITO REBOTE NA ECONOMIA**

SAULO BORGES DE SOUZA

MACAÉ/RJ

2015

**POSSIBILIDADE DE OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE GERAÇÃO ELÉTRICA DE
PLATAFORMAS MARÍTIMAS DA BACIA DE CAMPOS E AVALIAÇÃO DO
EFEITO REBOTE NA ECONOMIA**

SAULO BORGES DE SOUZA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, na área de atuação Desenvolvimento e Sustentabilidade, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Marcos Antônio Cruz Moreira D. Sc.

MACAÉ/RJ

2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S729p Souza, Saulo Borges de.

Possibilidade de otimização do sistema de geração elétrica de plataformas marítimas da bacia de Campos e avaliação do efeito rebote na economia/ Saulo Borges de Souza. – Macaé, RJ, 2015.

80 f.: il. color.

Orientador: Marcos Antônio Cruz Moreira.

Dissertação (mestrado). – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Macaé, RJ, 2015.

Inclui bibliografia.

1. Plataforma continental - Brasil. 2. Plataformas de perfuração - Brasil. 3. Energia elétrica - Produção - Brasil. 4. Indústrias - Conservação de energia - Brasil. 5. Sistemas de energia elétrica - Modelos matemáticos. I. Moreira, Marcos Antônio Cruz, orient. II. Título.

CDD 338.2728

Dissertação intitulada POSSIBILIDADE DE OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE GERAÇÃO ELÉTRICA DE PLATAFORMAS MARÍTIMAS DA BACIA DE CAMPOS E AVALIAÇÃO DO EFEITO REBOTE NA ECONOMIA, elaborada por SAULO BORGES DE SOUZA, e apresentado publicamente perante a Banca Examinadora, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, na área de atuação Desenvolvimento e Sustentabilidade, linha de pesquisa Fontes Renováveis, Conservação e Uso Eficiente de Energia, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense - IFF.

Aprovada em _____

Banca Examinadora:

.....
Marcos Antonio Cruz Moreira, Doutor em Engenharia Elétrica (COPPE/UFRJ) / Instituto Federal Fluminense – Orientador

.....
Marcelo Accorsi Miranda, Mestre em Engenharia de Produção (UFF) / PETROBRAS

.....
João José de Assis Rangel, Doutor em Engenharia e Ciência dos Materiais (UENF) / Instituto Federal Fluminense

.....
Maria Inês Paes Ferreira, Doutora em Ciência e Tecnologia de Polímeros (UFRJ) / Instituto Federal Fluminense

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Edson e Suzana, aos irmãos, Edson, Míriam, Vladimir e Milena e filhos, Ivo e Filipe. Também aos amigos que se tornaram minha família, em Macaé.

AGRADECIMENTOS

A todos que contribuíram para a realização desse trabalho, direta e indiretamente.

Ao meu orientador professor Marcos Antônio Cruz Moreira e aos professores do IFF que tornaram possível essa grande realização.

Aos colegas da PETROBRAS, não citarei todos, pois foram muitos, mas não poderia deixar de mencionar alguns que tiveram maior contribuição. À equipe de alto nível do OPM/MEDSE, em particular aos especialistas de turbomáquinas e motores: Bastos, Pini, Pinheiro, Leopoldo, Fernando, Grizante, Santoro, Alexandre, Jurandir, Achilles (bombas) e ao gerente Manoel que acreditou no meu trabalho. Ao Tomás da confiabilidade. Aos profissionais das gerências dos ativos, incluindo-se os embarcados. Aos colegas da elétrica Renato e Aldir, que leram e comentaram o texto e ao Luiz Fernando que participou e contribuiu para o segundo artigo.

À minha família, pais, irmãos. Aos filhos, Ivo e Filipe, que se privaram de muitas horas de convívio, enquanto eu desenvolvia o projeto.

Aos funcionários e contribuintes que sustentam o IFF.

Deus.

EPÍGRAFE

“E enquanto você reza, vá fazendo.”

Provérbio africano

RESUMO

O crescimento demográfico e o aumento do consumo per capita pressionam a exploração crescente de recursos naturais. O aumento da eficiência na utilização de recursos, como água e energia, é uma maneira eficaz de reduzir emissões atmosféricas. O trabalho apresenta um estudo do sistema de geração elétrica de plataformas de petróleo, com foco na confiabilidade e eficiência energética, visando a redução do número de máquinas em operação. Também foi estudado o risco de efeito rebote (efeito indesejado que causa o aumento do consumo concomitantemente à redução). Foram produzidos dois artigos relativos à dissertação:

No primeiro artigo foram estudadas questões relativas ao projeto, à confiabilidade e às características de plataformas da Bacia de Campos. Fez-se uma revisão da literatura relativa a esse tema e ao efeito rebote. Também foi feito o estudo de caso da otimização de uma plataforma com turbogeradores, explicitando o potencial de redução do consumo de gás combustível.

No segundo artigo é apresentado um método para avaliação da confiabilidade e a aplicação para dois casos típicos de plataformas de produção de petróleo e gás da Bacia de Campos, sendo uma com turbogeradores e a outra com motogeradores. O método utilizado foi a modelagem matemática com auxílio de programas computacionais e o método comparativo. Conclui-se pela viabilidade técnica para a plataforma com motogeradores. Conclui-se também que a análise da demanda elétrica e dos parâmetros de confiabilidade do sistema de geração elétrica deve ser realizada regularmente e sempre que houver alterações significativas nos equipamentos e processos de uma planta industrial, para que se opere de uma maneira eficiente.

Palavras-chave: Eficiência energética, confiabilidade, plataforma de petróleo, efeito rebote, geração elétrica.

ABSTRACT

Population growth and consumption increase per capita both pressure the market to increase exploration of natural resources. Increasing the efficiency of resource utilization such as water and energy is an effective way to reduce greenhouse gas emissions. This dissertation presents a study of the power generation systems of oil platforms with a focus on reliability and energy efficiency, in order to reduce the number of machines in operation. It also studied the risk of rebound effect (undesired effect that causes increased consumption concomitant to reduction in consumption). Two papers were produced related to the dissertation:

In the first paper, issues related to the project, reliability and characteristics of platforms in the Campos Basin were studied. It is a review of the literature on this subject and the rebound effect. It carried out a case study of the optimization of a platform with turbo generators, explaining the potential to reduce fuel gas consumption.

In the second paper, a method for assessing the reliability was presented and it was applied for two typical cases of oil and gas production platforms in the Campos Basin, one with turbo and the other with motogenerators. The method used was the mathematical modeling with the aid of computer programs and the comparative method. It was concluded by the technical feasibility in the platform with motogenerators. We conclude also that the analysis of electrical demands and the power generation system reliability parameters should be carried out regularly and whenever there are significant changes in equipment and processes of an industrial plant in order to operate it in an efficient way.

Keywords: Energy Efficiency, reliability, oil and gas platform, rebound effect, electric power generation.

LISTA DE FIGURAS

APRESENTAÇÃO

Figura 1 – Esquema de produção de refinaria nível 4.	1
Figura 2 – Emissões globais do setor de energia: visão da UNEP – ONU	4
Figura 3 – Plataformas da UO-BC. Tipos de plataforma em relação à geração elétrica.....	6

ARTIGO I

Figura 1 – Produção de petróleo no Brasil: 2000 a 2014.	8
Figura 2 – Bacias sedimentares, com detalhe das áreas do pré-sal	9
Figura 3 – Consumo de energia UO-BC por área, 2013	12
Figura 4 – Taxa de falha de equipamentos elétricos e mecânicos em função do tempo.....	14
Figura 5 – Representação gráfica do efeito rebote	20
Figura 6 – Influências intensidade do efeito rebote.....	23

ARTIGO II

Figura 1 – Desenho ilustrativo da turbina Siemens SGT-200	30
Figura 2 – Taxa de falha de equipamentos elétricos e mecânicos em função do tempo.....	31
Figura 3 – Aspecto econômico relativo às manutenções preventivas/corretivas	33
Figura 4 – Janela do Weibull para escolha da distribuição estatística dos dados.....	36
Figura 5 – Demanda elétrica de PGP-1 total e por TG, 2014.....	38
Figura 6 – Demanda elétrica de PPM-1 total e por TG, 2014.....	39
Figura 7 – Demanda elétrica P-09, 2013 a 2015	40
Figura 8 – Histograma dos registros de demanda elétrica da P-09, 2013 a 2015. Média: 1331kW, $\sigma=197kW$	42

Figura 9 – Histograma dos registros de demanda elétrica da P-09, set/2013 a mar/2014.

Média: 1286kW, $\sigma=108$ kW.....42

Figura 10 – Interface do TurboREM com saída de índices relativos às turbomáquinas43

LISTA DE TABELAS**ARTIGO I**

Tabela 1 – Eficiência Sistema Geração de PPG-1 (Turbogeradores a gás).....	18
Tabela 2 – Consumo de gás em m ³ /d para potência 18MW em PPG-1	19

ARTIGO II

Tabela 1 – Registros de demanda X número de MGs em operação.....	41
Tabela 2 – Índices de confiabilidade de PPM-1 e PGP-1	44
Tabela 3 – Índices simulados no Blocksim (período de 1 ano), dados de 2010 a mar/2015....	44
Tabela 4 – Número de ESDs e MTBF relativos ao sistema de geração elétrica, 2010 a mar/2015.....	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABAST	Abastecimento (Área da PETROBRAS)
ANP	Agência Nacional do Petróleo
CICE	Comissão Interna de Conservação de Energia
E&P	Exploração e Produção (Área da PETROBRAS)
E&P-SERV	E&P-Serviços
ESD	<i>Emergency Shutdown</i> (Parada de Emergência – não programada)
IBP	Instituto Brasileiro do Petróleo
PETROBRAS	Petróleo Brasileiro S.A.
FORTTRAN	<i>Formula Translating System</i>
FPSO	<i>Floating Production Storage and Offloading</i>
FSO	<i>Floating Storage and Offloading</i>
GNL	Gás Natural Liquefeito
MG	motogerador
MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i>
MTTF	<i>Mean Time to Fail</i>
OREDA	Offshore Reliability Data
PGP-1	Plataforma de Garoupa 1
PI	<i>Plant Information</i>
PPM-1	Plataforma de Pampo 1
P-07; P-09, etc	Plataforma PETROBRAS 7; 9; etc
SITOP	Situação Operacional
SS	Semi-submersível (Plataforma ou sonda)
TLP	<i>Tension Leg Platform</i>
TC	Turbocompressor

TG	Turbogerador
TMF	Tempo Médio até Falhar
TurboREM	Turbomáquinas Registro de Eventos de Máquinas
UO-BC	Unidade de Operações de Exploração e Produção da Bacia de Campos
UO-RIO	Unidade de Operações de Exploração e Produção do Rio de Janeiro
UO-ES	Unidade de Operações de Exploração e Produção do Espírito Santo

LISTA DE SIMBOLOS

bb1	Barril ($1 \text{ m}^3 = 6,29 \text{ bbl}$)
M	Milhares ou Mega (Apesar de não ser uma boa prática, é comum o uso de M como símbolo de milhar, ex $10 \text{ Mm}^3/\text{d} = 10.000 \text{ m}^3/\text{d}$)
MM	Milhões
m^3/d	Metro cúbico/dia
VA	Volt-Ampere
MVA	Mega Volt-Ampere
W	Watt
MW	Megawatt
kWh	Quilowatt x hora

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	v
AGRADECIMENTOS	vi
EPÍGRAFE	vii
RESUMO	viii
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xiii
LISTA DE SIMBOLOS	xv
SUMÁRIO	xvi
APRESENTAÇÃO	1
Artigo Científico I	7
RESUMO	7
ABSTRACT	7
1. INTRODUÇÃO	8
1.1. Bacia de Campos e UO-BC.....	8
1.2. Projeto de plataformas.....	10
1.3. Eficiência Energética na Indústria.....	10
1.4. Objetivos	11
2. ASPECTOS CONCEITUAIS	11
2.1. Geração elétrica em plataformas	11
2.2. Confiabilidade em Plataformas de Petróleo	13
2.3. Programas computacionais e bancos de dados de falhas.....	16
2.4. Estudo de Caso – Plataforma de PPG-1	17
2.5. Efeito rebote	19
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS	23
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25
Artigo Científico II	28
RESUMO	28
ABSTRACT	28

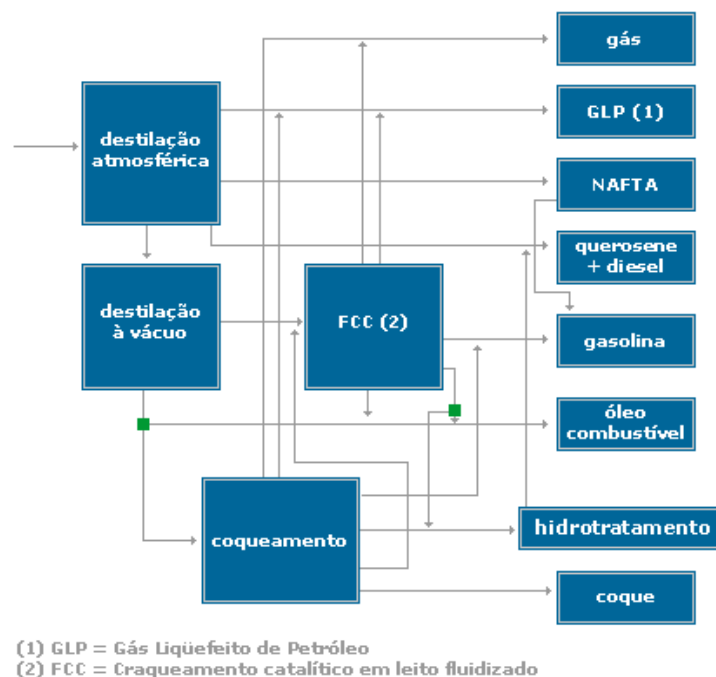
1. INTRODUÇÃO	29
1.1. Eficiência Energética na Indústria.....	29
1.2. Engenharia de confiabilidade	29
1.2.1. Manutenção	32
1.3. Configuração k de n	33
1.4. Objetivos	34
2. MATERIAL E MÉTODO	34
2.1. Programas computacionais e bancos de dados de falhas.....	35
2.2. Condições de Contorno	37
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
3.1. Plataformas com turbogeradores	42
3.2. Plataformas com motogeradores	45
4. CONCLUSÕES	46
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
ANEXO 1 - ANÁLISE DE DEMANDA E POTÊNCIA ELÉTRICA DISPONÍVEL DE PLATAFORMAS DA UO-BC	51
ANEXO 2 – BANCO DE DADOS DE ESDs	64
ANEXO 3 – INFORMAÇÃO DA PLANILHA DA SITOP	70
APÊNDICE 1 – ANÁLISE BIBLIOGRÁFICA	74

APRESENTAÇÃO

A sociedade contemporânea, estruturada em cidades, está apoiada fortemente nas indústrias, que fornecem produtos indispensáveis para o atual modelo socioeconômico e emprego e renda, utilizada para comprar seus próprios produtos. As indústrias de base como mineração, siderurgia e petroquímica fornecem os insumos para as indústrias automobilística, de manufatura, eletroeletrônica e outras. A transformação de óleo, gás e carvão em combustíveis e energia elétrica baratos ajudaram a construir a civilização moderna (LOVINS, 2012).

As empresas petrolíferas extraem petróleo e gás e têm como produtos principais os combustíveis (diesel, gasolina, querosene para aviação, GNV, gás de cozinha) e outros produtos como os óleos lubrificantes, a nafta (do árabe *naft*, óleo), o coque e o asfalto. A nafta, principal matéria-prima das petroquímicas, é convertida, através de novas destilações e processos, em uma série de subprodutos: plásticos, tecidos, cosméticos, borracha, detergente, solventes, parafina, vaselina, etc. Outro produto importante, proveniente do gás natural, são os fertilizantes. Na Figura 1 pode ser visto o esquema dos processos de uma refinaria moderna com processo de hidrotratamento (ANP, 2014).

Figura 1 – Esquema de produção de refinaria nível 4.



Fonte: ANP, 2014.

É necessário reconhecer a importância dessa indústria para a sociedade moderna e para o desenvolvimento material e tecnológico. Pode-se dizer que a organização em grandes cidades, na escala atual, seria praticamente impossível sem os combustíveis fósseis e a infraestrutura de transporte. Por outro lado, não podemos esquecer o grande impacto ambiental decorrente do atual modelo, baseado em um consumo crescente tanto em valores per capita como em valores absolutos. O grande consumo de combustíveis fósseis é visto como uma das causas do aquecimento global. A geração de resíduos sólidos é um importante fator de degradação ambiental e inutilização de áreas usadas, para aterro sanitário. O percentual de resíduos reciclados no Brasil ainda é muito baixo.

O volume produzido de petróleo e gás hoje e sua perspectiva futura passam por um momento de incertezas, influenciado pela forte queda no preço de mercado. Do lado da demanda, a queda no preço incentiva o aumento do consumo. Por outro lado, preços baixos tornam antieconômicos vários campos, tais como os campos não convencionais do Canadá (areias betuminosas) e dos Estados Unidos (óleo e gás de folhelho). Devido a diversos fatores, como a produção crescente de petróleo e gás nos Estados Unidos, acordos de redução de emissões da China e dos Estados Unidos, o desenvolvimento de novas tecnologias (por exemplo: energias renováveis e veículos elétricos) e o fato da OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo) mudar sua estratégia, deixando o preço oscilar livremente, a *commodity* teve forte desvalorização a partir de agosto de 2014. A incerteza do cenário futuro tem forçado as empresas petrolíferas a rever seus planos de investimentos e produção (KALETSKY, 2015).

A economia de Macaé é fortemente voltada para a indústria do petróleo. A PETROBRAS e as empresas fornecedoras de serviço na área de petróleo geram a maioria dos empregos. Além disso, um grande número de pessoas das cidades próximas se desloca regularmente para complementar a necessidade de mão de obra qualificada. Para as plataformas, a mão de obra, na maior parte, é proveniente de outros estados brasileiros (ou outros países). O aeroporto e o porto são importantes para a economia local, servindo de passagem para grande número de pessoas e materiais. Além dos *royalties* e participações especiais pagos pelas operadoras, as empresas instaladas em Macaé contribuem com impostos, sendo o governo municipal altamente dependente dessas receitas.

Os municípios recebedores de royalties da Bacia de Campos vêm sofrendo impactos com a crise política e a queda dos preços do petróleo. A queda da arrecadação de *royalties* é uma consequência imediata e visível e tem afetado as prefeituras, que necessitam rever seus orçamentos. Onde estão localizadas bases de empresas ligadas ao setor do petróleo, o efeito é maior, com desaceleração da economia e demissões. “Cidades como Rio das Ostras, Quissamã e Campos dos Goytacazes seguem enfrentando sérios impactos administrativos, acumulando déficits que pesam no cotidiano da população.” (O DEBATE, 2015).

PETROBRAS e Eficiência Energética

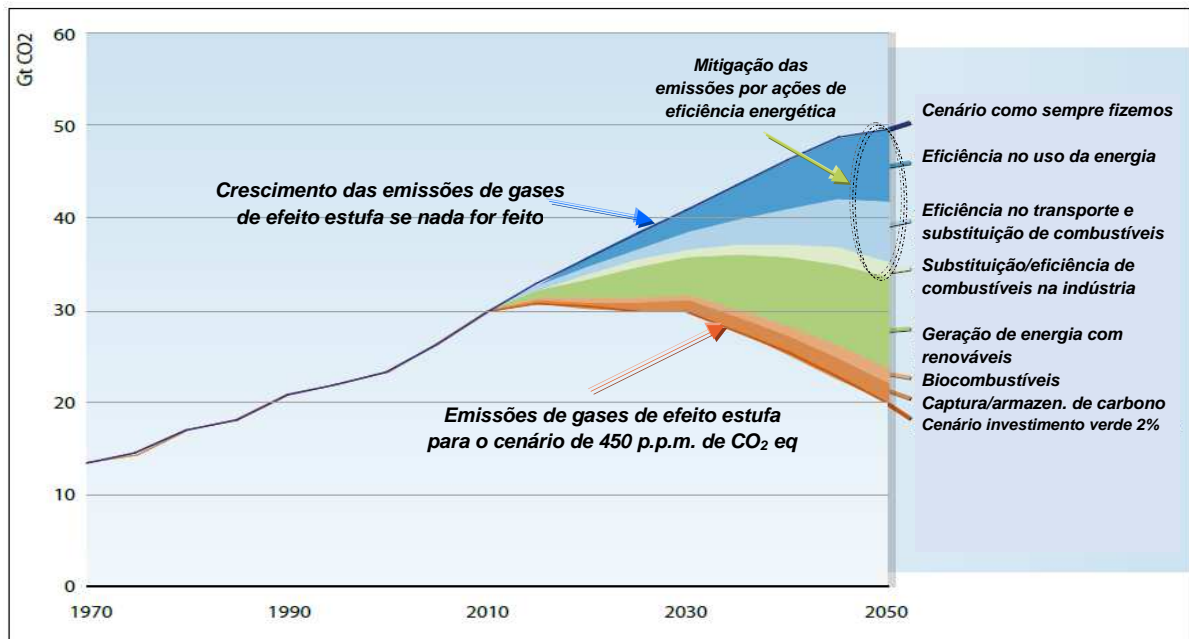
A PETROBRAS é composta por sete grandes áreas, representadas por diretorias, das quais se destacam os setores de E&P (Exploração e Produção) e ABAST (Abastecimento: Refinarias, Petroquímica e Distribuição). Do total de investimentos para 2014-2018, 70% seriam destinados ao E&P (US\$ 153,9 bilhões) e 18% iriam para o ABAST (US\$ 38,7 bilhões) (PETROBRAS, 2014). A PETROBRAS, em Macaé, tem como principal atividade o E&P, estando a base da UO-BC (Unidade Operacional de Exploração e Produção da Bacia de Campos) no bairro Imbetiba e a base do E&P-SERV (E&P-Serviços) no bairro Imboacica. Também relevante é o Terminal de Cabiúnas (TECAB), da TRANSPETRO, responsável pelo recebimento do petróleo das plataformas mais antigas, de lâmina d’água rasa, e do gás total da Bacia de Campos, incluindo as plataformas de água profunda. No TECAB é feito um tratamento primário e o petróleo é enviado para as refinarias de Duque de Caxias-RJ (REDUC) e de Betim-MG (REGAP), o gás é comprimido e integrado à malha de gás nacional da TRANSPETRO.

Segundo Braga *et al* (2005), um desafio técnico é a eficiência do aproveitamento das fontes de energia. O ABAST tem sido atuante em projetos de eficiência energética, seja pela pressão externa (dos órgãos ambientais e da sociedade), interna, por meio das CICES (Comissões Internas de Conservação de Energia) ou pelo benefício econômico da economia de energia. Já o E&P, apesar das pressões mencionadas, realiza ações em velocidade menor. Grandes dificultadores são a logística complexa e a dificuldade de realização de obras devido a limitação de espaço e de vagas de pessoal nas plataformas. A existência da CICE é uma obrigação legal para empresas com consumo anual de energia elétrica superior a 600.000 kWh (seiscentos mil quilowatts hora) ou 15 TEPs (quinze toneladas equivalentes de petróleo),

essas comissões possuem atribuições como acompanhamento do consumo de energéticos e propostas de projetos para melhoria da eficiência energética.

A adoção de medidas para melhoria da eficiência energética na indústria é necessária para reduzir emissões de gases de efeito estufa, levando-se em conta que as empresas petrolíferas são também grandes consumidores de seus próprios produtos. Além disso, visto que a troca imediata do modelo energético não é provável, é conveniente que haja medidas para mitigar os impactos das energias de origem fóssil. A ONU (Organização das Nações Unidas) através do UNEP (United Nations Environment Programme) prevê que, ao lado das energias renováveis e da melhoria da eficiência no transporte, a eficiência energética será uma das principais maneiras de mitigar emissões de gases de efeito estufa. Na Figura 2, vemos alguns cenários com o caso base, se nada for feito, e o impacto de medidas para reduzir as emissões até 2050.

Figura 2 – Emissões globais do setor de energia



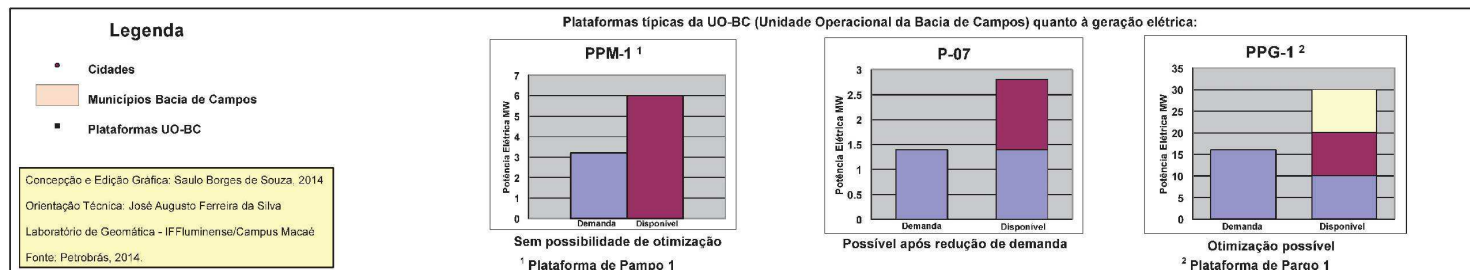
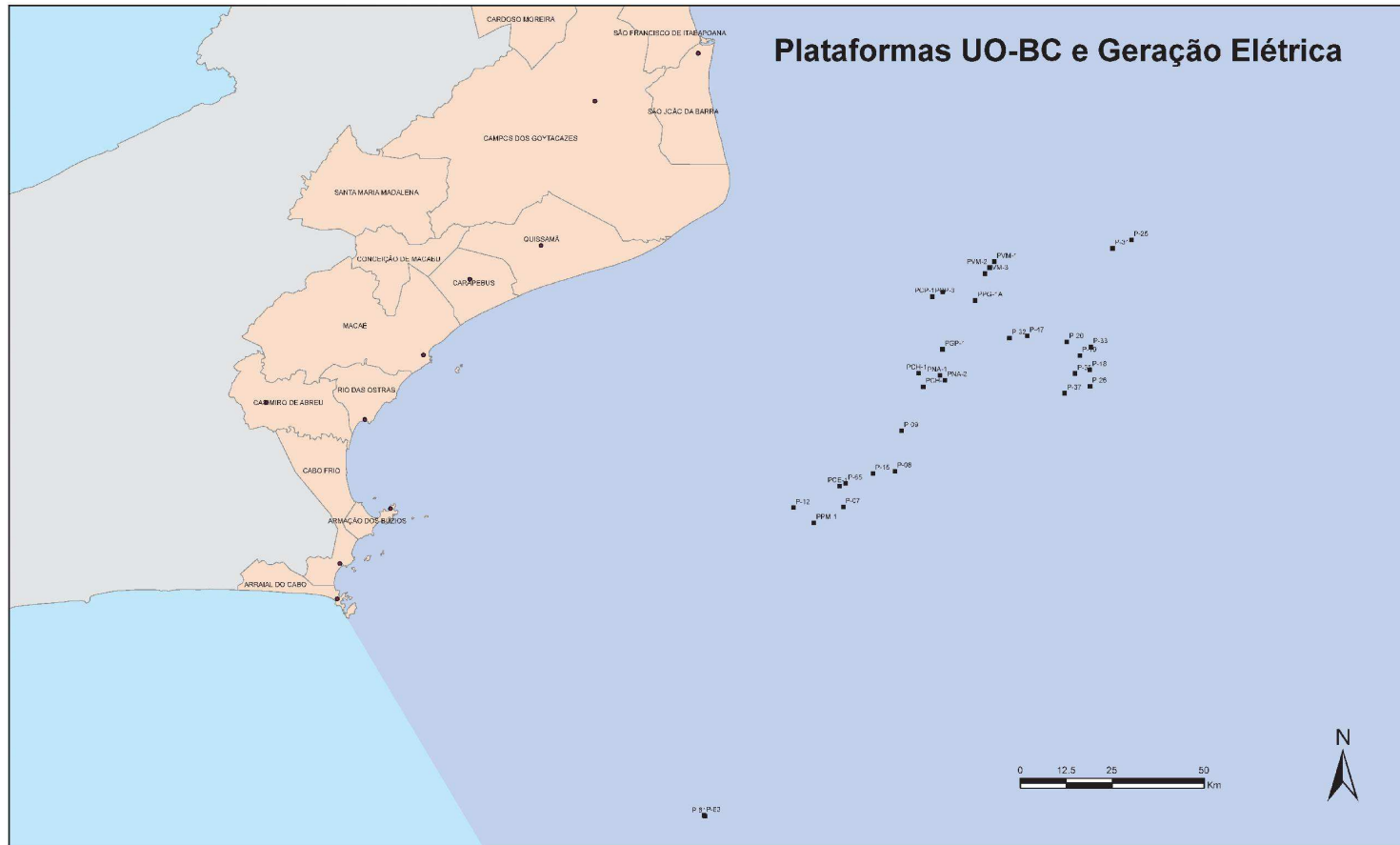
(*) UNEP - United Nations Environment Programme

Fonte: UNEP – ONU (2009), adaptado pelo autor

Para a UO-BC, objeto da pesquisa, foram consumidas, em 2014, 1.255.592 toneladas de combustível (gás natural e diesel preponderantemente), sendo geradas 3.943.011 toneladas

de CO₂ equivalente (SIGEA, 2015 - Sistema de Gestão de Emissões Atmosféricas da PETROBRAS). Existem inúmeras oportunidades para melhoria da eficiência energética de suas 32 plataformas produtoras, sendo a otimização da geração uma medida efetiva e que demanda pouco investimento. A Figura 3, na página 6, apresenta um mapa com a localização das plataformas da UO-BC e gráficos com as três situações típicas para o sistema de geração elétrica: a) sem possibilidade de redução do número de máquinas operando, sendo PPM-1 um exemplo; b) demanda energética no limiar e com possibilidade de redução/otimização do número de máquinas operando, após ações de eficiência energética, sendo P-07 um exemplo; c) redução/otimização do número de máquinas operando possível sob o ponto de vista da demanda elétrica e capacidades dos geradores, sendo PPG-1 um exemplo.

Figura 3 – Plataformas da UO-BC. Tipos de plataforma em relação à geração elétrica.



Fonte: Produção do autor com dados da PETROBRAS (2014).

Artigo Científico I

Possibilidade de Otimização do Sistema de Geração Elétrica de Plataformas Marítimas da Bacia de Campos e Avaliação do Efeito Rebote na Economia

Possibility of Optimization of Electric Power Generation System of Offshore Platforms in the Campos Basin and Economic Rebound Effect Assessment

Saulo Borges de Souza*

Marcos Antonio Cruz Moreira**

RESUMO

Foi realizado um estudo para plataformas de produção de petróleo e gás da Bacia de Campos relativo à viabilidade de otimização do sistema de geração elétrica, evitando redundâncias desnecessárias e com consequente redução de emissões atmosféricas. Esse artigo apresenta as principais questões a serem consideradas, de acordo com a literatura. O efeito rebote, que pode reduzir o ganho ambiental almejado, e o risco de sua ocorrência, foram estudados. Esse trabalho contribui para preencher essas lacunas na área de eficiência energética relativa a plataforma de petróleo.

Palavras-chave: Eficiência energética, confiabilidade, plataforma de petróleo, efeito rebote.

ABSTRACT

A feasibility study on the optimization of power generation system was performed focusing oil and gas production platforms in Campos Basin, Brazil, avoiding unnecessary redundancies and consequently cutting down greenhouse gas emissions. This paper presents the main issues to be considered, according to the literature. The rebound effect, which can reduce the desired environmental gain and the risk of its occurrence, were studied. This work contributes to fill these gaps in the area of energy efficiency on oil and gas production platforms.

Keywords: Energy efficiency, reliability, oil and gas platforms, rebound effect.

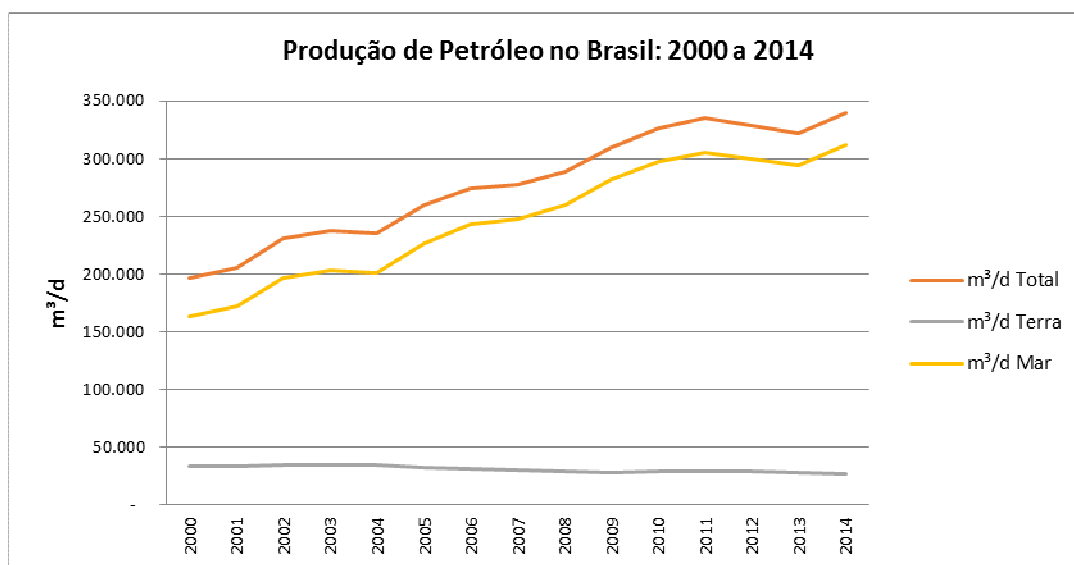
* Mestrando em Engenharia Ambiental pelo IFF, Engenheiro Eletricista pelo CEFET-MG, Engenheiro de Petróleo da PETROBRAS.

**Engenheiro Eletrônico e Doutor em Engenharia Elétrica pela UFRJ e Professor no Curso de Mestrado do IFF.

1. INTRODUÇÃO

A produção de petróleo e gás no mundo ainda está em expansão, apesar de em algumas regiões, como no Mar do Norte, já ter tido um declínio acentuado. Contudo, existem grandes incertezas, devido à recente queda dos preços de mercado do petróleo. O Brasil cresce acima da média mundial (*Figura 1*), com previsão de aumento nos próximos anos, devido ao início de produção das plataformas do pré-sal. Em março de 2015 a produção proveniente de poços do pré-sal atingiu uma média mensal de 107,0 Mm³/d (672,9 Mbbl/d) de petróleo e 25,5 Mm³/d de gás natural. A média diária de produção do Brasil em março de 2015 foi de 383,7 Mm³/d (2.413 Mbbl/d) e 95,6Mm³/d, através de 9.070 poços, sendo 817 marítimos e 8.253 terrestres (ANP, 2015). A PETROBRAS anunciou, em 2014, que, em 2018, 52% da produção total de óleo virá do pré-sal (AGÊNCIA BRASIL, 2014).

Figura 1 – Produção de petróleo no Brasil: 2000 a 2014.



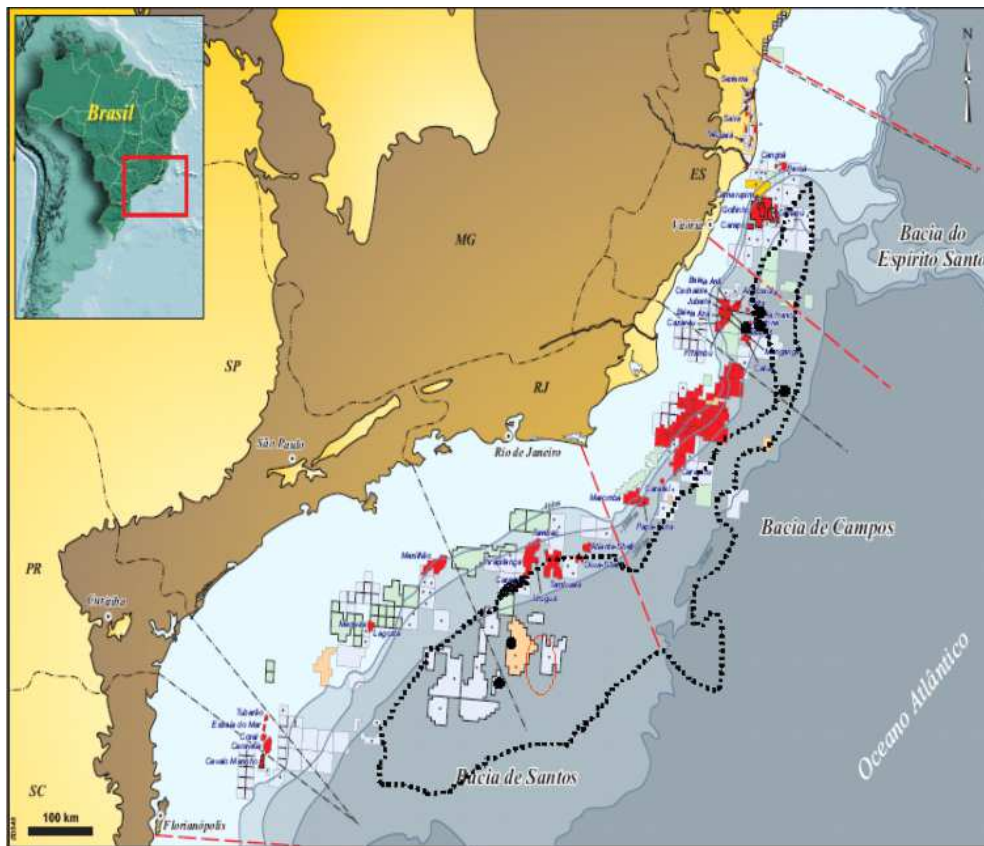
Fonte: Gráfico do autor com dados da ANP (2014).

1.1. Bacia de Campos e UO-BC

A Bacia de Campos se estende do alto de Cabo Frio, ao sul, tendo como limite a Bacia de Santos, até o alto de Vitória, ao norte, tendo como limite a Bacia do Espírito Santo (*Figura 2*). Atualmente é responsável por cerca de 70% da produção de petróleo nacional (ANP, 2015).

Por razões administrativas a Bacia de Campos é dividida na PETROBRAS em três Unidades Operacionais: Bacia de Campos (UO-BC), Rio de Janeiro (UO-RIO), e Espírito Santo (UO-ES), com sedes em Macaé, Rio de Janeiro e Vitória, respectivamente. Além da PETROBRAS outras empresas como Statoil, Shell, British Petroleum e Chevron, também operam plataformas, mas com produção significativamente menor. Em março de 2015 “cerca de 91,7% da produção de petróleo e gás natural (no Brasil) foram provenientes de campos operados pela PETROBRAS” (ANP, 2015).

Figura 2 – Bacias sedimentares, com detalhe das áreas do pré-sal



Fonte: IBP (2009)

A UO-BC compreende campos maduros próximos a Macaé e as plataformas mais antigas (32 plataformas de produção). Já sofreu declínio de produção considerável, desde o início da produção comercial, em 1977, com a plataforma de Enchova. Em 2013 e 2015, entraram em produção a P-63 e a P-61 respectivamente, na concessão de Papa-Terra. Ao longo dos anos algumas plataformas, em produção antieconômica, vem sendo desmobilizadas, o que ocorreu com a P-27, em 2013, e a P-12, em 2014.

1.2. Projeto de plataformas

O projeto de plataformas é realizado após os estudos geológicos e de engenharia de reservatórios. Após a descoberta, confirmada pela perfuração do poço pioneiro, são feitos testes para avaliar o volume de reservas e parâmetros de produtividade. Normalmente se perfuram mais poços para melhorar a avaliação e diminuir os riscos das fases seguintes. Na fase de avaliação, são simulados alguns cenários com diferentes estratégias de exploração; posteriormente os poços produtores e injetores são locados, com auxílio de simuladores computacionais e é feito o projeto básico da plataforma.

Até uma lâmina d'água de cerca de 250 metros estão as plataformas fixas, a partir daí, estão as unidades flutuantes que podem ser navios ou semisubmersíveis (SS). As Unidades Flutuantes de Produção Armazenamento e Alívio (FPSO - *Floating Production Storage and Offloading*) possuem a flexibilidade de armazenamento do petróleo produzido. Além desses tipos, a UO-BC iniciou a produção do campo de Papa-Terra, localizado ao sul através de 2 plataformas integradas, sendo a P-63, um FPSO, e a P-61, uma Plataforma de Pernas Atirantadas (TLP - *Tension Leg Platform*), única no Brasil (PETROBRAS, 2011).

Após o início da produção, há um aumento da vazão até atingir o pico, quando a maioria dos poços e aqueles com maior produtividade estão produzindo. A partir desse momento, devido a vários fatores, como queda da pressão do reservatório, aumento da fração de água e outros problemas relacionados à produtividade dos poços, se inicia o declínio da produção. São realizadas ações para reduzir a taxa de declínio, como injeção de água ou gás no reservatório, perfuração de novos poços ou intervenções nos poços existentes.

1.3. Eficiência Energética na Indústria

A eficiência energética é um campo do conhecimento que abrange as engenharias, a administração e possui interconexões com as ciências sociais. Normalmente ganha foco durante as crises energéticas, econômicas ou as guerras. Durante a crise do petróleo nos anos 1970/80, houve avanços nos projetos de automóveis e a diversificação de combustíveis no Brasil com o programa pró-alcool (MORAIS, 2013). Após o racionamento de energia elétrica

de 2000, conhecido como “apagão”, aumentou-se a preocupação em relação aos eletrodomésticos e iluminação, somente para citar alguns exemplos.

Com a crescente preocupação ambiental, o aquecimento global, a previsão de escassez dos combustíveis fósseis e os preços crescentes dos recursos energéticos, há uma tendência de aumento da importância da promoção da eficiência energética tanto pelas empresas quanto pelo poder público.

1.4. Objetivos

Apresentar os requisitos necessários para avaliação do sistema de geração elétrica de plataformas de petróleo, de acordo com a literatura. Apresentar o tema efeito rebote, frequentemente negligenciado nos programas de eficiência energética. Demonstrar que a redução no número de máquinas em operação aumenta a eficiência energética do sistema de geração, através de um estudo de caso.

2. ASPECTOS CONCEITUAIS

2.1. Geração elétrica em plataformas

A energia elétrica é uma necessidade básica das plantas industriais. As plataformas possuem geração própria que, na UO-BC, é feita por turbogeradores (TGs) a gás ou por motogeradores (MGs) a diesel e ainda, para os FPSOs P-31 e P-33 e para o FSO (*Floating Storage and Offloading*) P-32, por caldeiras a vapor, que atualmente utilizam diesel. Os TGs podem utilizar diesel, o que é evitado, devido ao maior custo do combustível.

Existem plataformas integradas com cabos elétricos submarinos com configurações particulares:

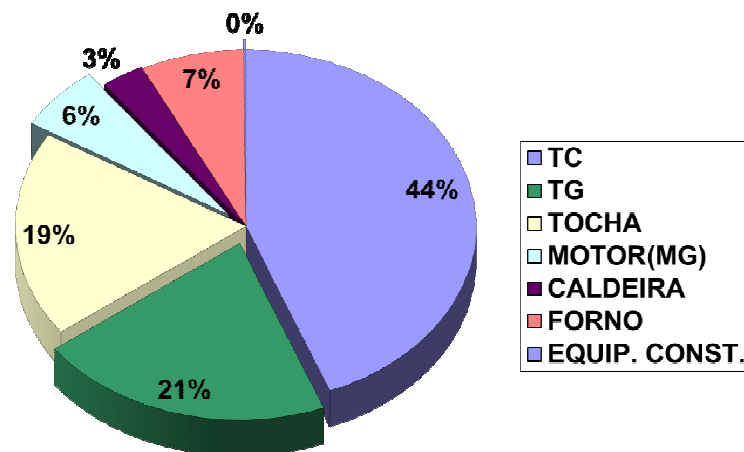
- PNA-1¹ gera energia para PNA-2 e para si própria;

¹ PNA-1 e PNA-2: Plataformas de Namorado 1 e 2

- PPG-1² gera energia para as três plataformas de Vermelho e para as três plataformas de Carapeba e para si própria;
- PCH-1³ é interligada a PCH-2. Ambas possuem TGs que normalmente ficam ligados simultaneamente;
- P-63 gera energia para P-61 e para si própria.

As plataformas também possuem motogeradores de emergência, a diesel, que não serão objeto de estudo, por serem de menor porte e ficarem a maior parte do tempo desligados. A Figura 3 mostra o consumo energético da UO-BC por área, destacando os equipamentos do sistema de geração elétrica, turbogeradores (TGs) e motogeradores (Motor – MG).

Figura 3 – Consumo de Energia UO-BC por área, 2013



Fonte: Gráfico do autor com dados da PETROBRAS (2014)

A operação dos sistemas de geração elétrica depende de como a plataforma foi projetada, o que, para a maioria das plataformas da UO-BC, foi feito entre 20 a 40 anos atrás. Também depende das modificações ocorridas no decorrer da vida da plataforma, muitas em operação há mais de 25 anos.

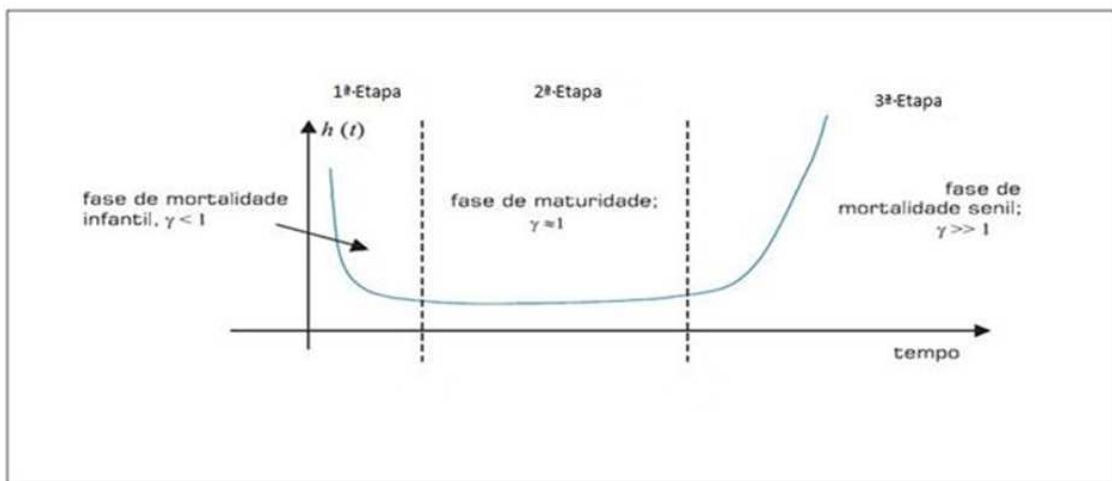
² PPG-1: Plataforma de Pargo 1

³ PCH-1 e PCH-2: Plataformas de Cherne 1 e 2

2.2. Confiabilidade em Plataformas de Petróleo

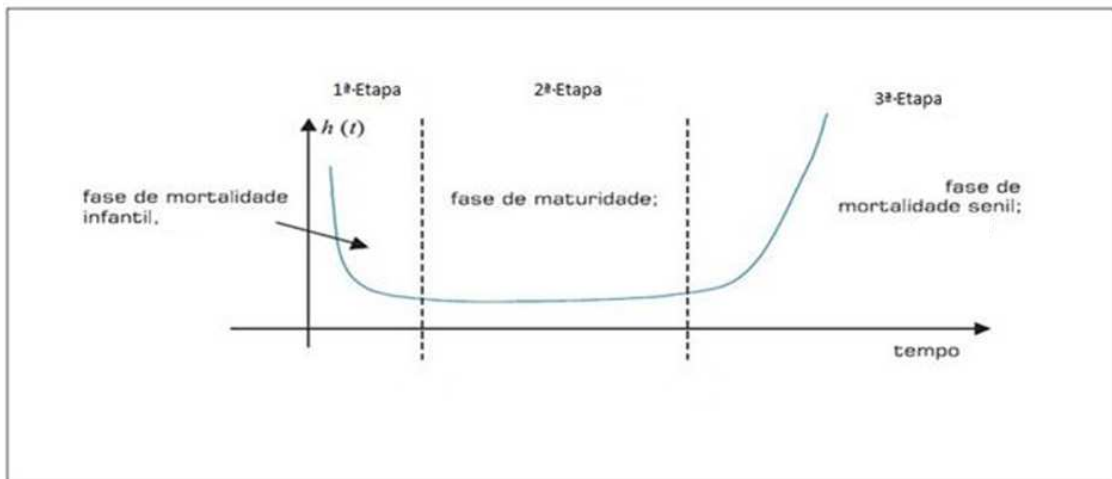
A engenharia de confiabilidade diz respeito ao estudo da probabilidade de que falhas em sistemas ou equipamento ocorram e de maneiras de prevenção e redução. A confiabilidade não é um parâmetro determinístico, mas probabilístico relativo a um determinado item para um período de tempo e sob um conjunto determinado de condições (COSTA, 1991).

A confiabilidade depende de uma grande quantidade de fatores como: tecnologia e procedimentos de fabricação dos equipamentos e controle de qualidade. Condições ambientais no local de instalação e fatores humanos relacionados à maneira de operação afetam o desempenho do equipamento e sua disponibilidade. O acompanhamento sistematizado de indicadores de desempenho é um dos métodos utilizados pela engenharia de confiabilidade. A taxa de falha λ , obtida pela função da taxa de falha $h(t) = \lambda$, é um importante parâmetro e normalmente possui a forma da



(LAFRAIA, 2001).

Figura 4 – Taxa de falha de equipamentos elétricos e mecânicos em função do tempo



Fonte: LAFRAIA (2001), adaptado pelo autor

O gráfico possui três regiões: 1) período de depuração ou de mortalidade infantil: no início, há uma maior probabilidade de falha, pois defeitos de fabricação podem ocasionar falha prematura; 2) fase de maturidade ou vida útil: quando as falhas ficam reduzidas e aproximadamente constantes e 3) fase de mortalidade senil: período de desgaste ou fim de vida útil, quando as falhas voltam a aumentar, de forma exponencial.

O OREDA (Offshore Reliability Data) assume que a taxa de falha é constante durante a vida útil, com as premissas: os problemas de mortalidade infantil são evitados com testes cuidadosos antes do início de operação; antes das falhas por desgaste, os equipamentos entram em manutenção (revisão geral ou *overhaul*) (OREDA, 2009). Portanto é necessário ser criterioso ao utilizar os dados e compará-los com outras fontes, que podem ter filosofias diferentes.

Na fase de projeto, a análise da confiabilidade dos equipamentos em diferentes configurações é importante para definir as alternativas com maior retorno econômico-financeiro e menor risco. Também é importante que haja flexibilidade, devido à variação da produção e às incertezas nas previsões do reservatório. Na fase de produção, estudos de confiabilidade permitem uma gama de análises do desempenho dos equipamentos e sistemas que pode auxiliar na detecção de falhas recorrentes, definição de estratégias de operação e manutenção de equipamentos críticos, previsão de manutenção e custos, etc.

Como as vazões de produção oscilam (o petróleo e o gás declinam e a água aumenta), o número de equipamentos em operação também deve ser frequentemente reavaliado. O mais

comum é que, no final da vida, existam equipamentos sobredimensionados, que operam em um ponto de baixa eficiência. Além disso, como as mudanças são graduais e lentas, é comum que os operadores não percebam que estão entrando em ponto de operação inadequado e continuem operando do mesmo modo que há vários anos atrás.

Há muito tempo, a confiabilidade nos projetos industriais tem sido uma preocupação para especificação dos sistemas, avaliação de fabricantes ou projeto de equipamentos. Já sua utilização em sistemas em funcionamento tem se tornado frequente mais recentemente (OREDA, 2014). Isso se deve, às facilidades do uso de recursos computacionais e a um ambiente de competitividade entre as empresas.

Uma abordagem que tem obtido resultados animadores é a manutenção preditiva que pode postergar manutenções desnecessárias ou evitar quebras severas que necessitariam de maior tempo de manutenção corretiva, realizando-se a manutenção antes que um defeito venha a ocorrer.

Costa F. (1991) desenvolveu um trabalho para cálculo dos parâmetros de confiabilidade e disponibilidade. Foi feito um programa computacional na linguagem FORTRAN (*Formula Translating System*), com as formulações básicas, e então foram calculados os parâmetros de confiabilidade e feitas várias análises de sensibilidade.

Os parâmetros utilizados para seleção de uma turbina, de acordo com o autor, são no mínimo três: disponibilidade (Eq. 1), confiabilidade (Eq. 2) e MTTF (Eq. 3).

$$D = \frac{(T - TMP - TMC)}{T} \cdot 100\% \quad (\text{Eq. 1})$$

$$C = \frac{(T - TMP - TMC)}{T - TMP} \cdot 100\% \quad (\text{Eq. 2})$$

$$MTTF = \frac{\text{Horas em operação}}{NF} \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

D: Disponibilidade

T: Período de tempo

TMP: Tempo de manutenção preventiva

TMC: Tempo de manutenção corretiva

C: Confiabilidade

MTTF: *Mean Time to Fail* (tempo médio até falhar)

NF: Número de falhas

Esse trabalho é útil tanto para fins de projeto de novas plataformas quanto para avaliar a operação das plataformas existentes. O trabalho não aborda a operação de MGs, embora o método possa ser aplicado aos mesmos semelhantemente.

No campo do projeto de plataformas, podem ser citados os trabalhos de Miranda (2003, 2005 e 2008) na área de turbomáquinas, que recomendaram e apoiaram o uso de compressores de gás com motor elétrico ao contrário do projeto tradicional, que possuía compressores acionados por turbinas, no caso da UO-BC. As plataformas mais novas que entraram em operação após 2006 possuem essa configuração. Esses estudos são úteis, pois tratam a análise da confiabilidade da geração, que é o nosso interesse. Miranda e Meira (2008) fazem uma análise do custo do ciclo de vida (LCC – *Life Cycle Cost*) comparativo das antigas plataformas e das novas.

O OREDA é um banco de dados bastante conhecido na indústria de petróleo, iniciado com dados do Mar do Norte e do Mar Adriático, no início da década de 80, com o suporte de oito companhias de petróleo. Armazena dados de confiabilidade dos equipamentos críticos de plataformas marítimas de petróleo incluindo turbinas, motores de grande porte, vasos de pressão, dutos submarinos e válvulas entre outros. As empresas petrolíferas fornecem os dados que são organizados por uma instituição independente, atualmente a DNV (Det Norske Veritas), com sede em Oslo, na Noruega. A PETROBRAS participa do projeto desde 2009. O OREDA tem sido uma importante fonte de informações e base para inúmeros trabalhos científicos como o de Alvarenga e Sant’Anna (2005).

2.3. Programas computacionais e bancos de dados de falhas

Com o avanço das técnicas computacionais, a análise de confiabilidade de sistemas complexos tem sido facilitada. Os programas computacionais têm-se tornado a cada dia mais versáteis e simples de se usar. Existem programas que permitem integrar as análises de confiabilidade com dados de produção dos reservatórios e realizar análise econômica, como o Maros da DNV, que tem custo elevado, contudo.

O *software* Blocksim da Reliasoft, por exemplo, permite a simulação de sistemas com diagramas de bloco de confiabilidade em diversas configurações personalizáveis: série, paralelo, redundância *stand-by*, carga compartilhada e ciclo de operação. Para sistemas reparáveis e não-reparáveis oferece análises de confiabilidade, manutenibilidade, disponibilidade, otimização da confiabilidade, alocação de recursos, custo do ciclo de vida e outras; as licenças de uso têm um custo médio. A Reliasoft também possui o *software* Weibull++ para análise dos dados de vida, com possibilidade para diversos tipos de distribuição, que podem ser utilizadas no Blocksim (RELIASOFT, 2014).

Além dos programas computacionais, também são fundamentais os bancos de dados de falhas, sem os quais só podem ser feitas análises genéricas, sendo o OREDA um exemplo. Para as turbomáquinas (turbocompressores e turbogeradores), a PETROBRAS possui o banco de dados TurboREM, no qual são feitos registros e detalhamentos das falhas. Os motogeradores não possuem, até o momento, um banco de dados de falhas específico.

Para as paradas não programadas (*Emergency Shutdowns* ou ESDs), pode ser utilizado o banco de dados de ESDs das plataformas, que possui detalhamento superficial de falhas que levam a paradas não programadas. Esse é um banco de dados em formato de planilha, o que dificulta a análise dos motivos da falha no sistema de geração, pois não possui padronização nem validação de dados.

2.4. Estudo de Caso – Plataforma de PPG-1

Os conjuntos geradores são grandes consumidores de energia primária (diesel ou gás natural). A eficiência dos conjuntos geradores varia com o ponto de operação e os projetos são feitos para que seja máxima para operação próxima à potência nominal. Desta maneira se

dois geradores operam com 40% de carga, consomem mais combustível do que um operando com 80% de carga.

Tomemos como exemplo a plataforma PPG-1, cujos dados da eficiência da geração η se encontram na Tabela 1 (eficiência do sistema, considerando a potência elétrica de saída e o consumo total de gás como potência de entrada). Para uma potência média de 18MW (próxima da consumida atualmente), temos os valores de consumo de gás da Tabela 2. Com 2 TGs operando com potência de 9 MW, estaremos no ponto de maior eficiência do sistema ($\eta = 0,276$), consumindo 149.426 m³/d de gás. Com 3 TGs operando, serão consumidos 183.750 m³/d de gás com uma eficiência $\eta = 0,222$. A plataforma que normalmente opera todos seus 3 TGs, sem *stand-by*, justifica isso pelo ganho de confiabilidade. Na queda de um gerador e com a atuação adequada do Sistema de Descarte de Cargas (SDC), a plataforma continuará operando sem qualquer alteração. É relatado pelos empregados mais antigos que no passado as quedas de geração eram mais frequentes que atualmente, o que pode ter sido melhorado devido à curva de aprendizado de operação, bem como introdução de melhorias tecnológicas nos TGs, nos sistemas de controle e em outros equipamentos. Observa-se que a plataforma opera com 2 TGs durante serviços de manutenção. Dessa maneira, com a queda de 1 TG, será necessário descartar cargas e pode haver perda de produção.

Tabela 1 – Eficiência Sistema Geração de PPG-1 (Turbogeradores a gás).

Consumo gás m ³ /d	m ³ /h	kWh Equivalente	Potência kW	η Sistema
55000	2292	24748	4350	0,176
57500	2396	25873	5000	0,193
60000	2500	26998	5700	0,211
61250	2552	26998	6000	0,222
62500	2604	28123	6300	0,224
65000	2708	29248	7030	0,240
67500	2813	30373	7600	0,250
70000	2917	31497	8230	0,261
72500	3021	32622	8700	0,267
74713	3113	32622	9000	0,276
75008	3125	33751	9040	0,268
77000	3208	34647	9200	0,266

Fonte: Produção do autor, com dados da PETROBRAS, 2013.

Tabela 2 – Consumo de gás em m³/d para potência 18MW em PPG-1.

Consumo de gás m ³ /d	
3 TGs	3 x 61.250 = 183.750

2 TGs	$2 \times 74.713 = 149.426$
	Diferença 34.324

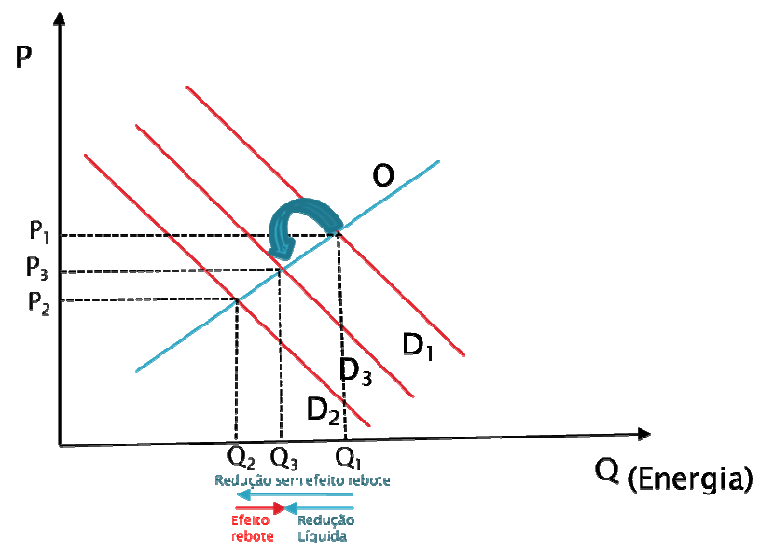
Fonte: Produção do autor, com dados da PETROBRAS, 2013.

Para motogeradores, quando se opera com baixa carga, além de haver maior consumo, semelhantemente ao caso dos turbogeradores, também há problemas de carbonização, o que pode causar uma falha mais rapidamente, pois aumenta-se o atrito e o desgaste nos pistões e nas camisas.

2.5. Efeito rebote

O efeito rebote (*rebound effect*) diz respeito aos efeitos não intencionais, concomitantes a ações de melhoria da eficiência energética, que podem reduzir os ganhos ou em certos casos até causar um aumento do gasto energético (*backfire*). A primeira referência é normalmente creditada a Jevons, quando, em meados do século XIX, houve ganhos em eficiência nas máquinas a vapor. “O trabalho seminal de Jevons está relacionado às preocupações, correntes na época, de que o Reino Unido pudesse vir a enfrentar uma crise de escassez de carvão, principal combustível então utilizado” (BARRETO, 2011). Para Jevons, os aumentos de eficiência, além de reduzir o ganho, ainda impulsionavam um aumento no consumo de combustível (ANDERSEN, 2013). O debate foi reiniciado nos anos 1980, com as crescentes preocupações ambientais, e ampliado após 1990, com o surgimento das discussões sobre políticas para redução das emissões de gases de efeito estufa. A *Figura 5* é uma representação gráfica do efeito rebote, com uma curva de oferta e três curvas de demanda fictícias, sendo a curva D_2 sem o efeito rebote e a curva D_3 considerando o efeito rebote.

Figura 5 – Representação gráfica do efeito rebote



Fonte: Gráfico do autor (2015)

2.5.1. Definições

O efeito rebote é normalmente expresso como percentual do benefício perdido em comparação com o benefício esperado, mantendo-se o consumo constante (GRUBB, 1990). Assim, se tivermos um efeito de 100%, todo o ganho será perdido; caso seja maior que 100% teremos *backfire*. Segundo Andersen (2013) e Barker *et al* (2007) o efeito rebote pode ser dividido em três componentes:

- Direto: o aumento da eficiência energética reduz o custo de um determinado produto/serviço o que causa um aumento de demanda e conseqüente aumento no consumo energético. Sobre o efeito direto é citado com frequência o *postulado Khazzom-Brookes* que afirma: “Com preços reais da energia fixos, ganhos de eficiência energética aumentam o consumo de energia acima de onde esse estaria sem os ganhos” (KHAZZOOM, 1980 *apud* ANDERSEN, 2013).

- Indireto: para os consumidores, as economias com um menor consumo energético podem ser utilizadas para comprar outros produtos/serviços, que consumirão mais energia.

- Efeito econômico global (*economy-wide rebound effect*): o nível geral do preço de produtos intermediários/finais é reduzido levando a uma série de ajustes e impulsionando o crescimento econômico, o que causará aumento no consumo energético. Andersen (2013) define o efeito global (*society-wide, economy-wide ou overall rebound effect*) como a soma dos efeitos direto e indireto.

O efeito rebote é relacionado com a elasticidade-preço da demanda (η_D) definida por Gremaud *et al* (2004) como a variação percentual da quantidade demandada de um bem, para cada variação percentual no preço desse bem (Eq. 4):

$$\eta_D = \frac{\text{Var. \% } Q_X}{\text{Var. \% } P_X} \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde:

Q_X = Quantidade consumida do produto X

P_X = Preço de X

Quando a elasticidade de um produto é grande, para uma pequena variação do preço temos uma grande variação da quantidade consumida e vice-versa. Teremos um efeito rebote grande para uma elasticidade grande. Gremaud *et al* (2004) citam algumas influências de fatores na elasticidade e lembram que “devem ser entendidos como subsídios à compreensão de por que a demanda por certos bens tem elasticidade maior que a de outros.”

I - Existência de bens substitutos – é de se esperar que, quanto melhores substitutos tiver o bem, maior deverá ser sua elasticidade. A razão para isso é que o consumidor poderá substituir o bem cujo preço aumentar por um outro que lhe seja concorrente (...).

II - O peso do bem no orçamento (...). Se for pouco substituível, quanto menor seu peso no orçamento, menor será sua elasticidade. (...)

III - Essencialidade do bem (...). Quanto mais essencial for o bem, menor deverá ser sua elasticidade-preço da demanda. (GREMAUD *et al*, 2004)

2.5.2. Quantificações

Enquanto a existência do efeito direto é amplamente aceita, e sua magnitude é frequentemente estimada, “há muita controvérsia conceitual e empírica sobre a magnitude do efeito macro” (BARKER *et al*, 2007). Isso se deve ao grande número de variáveis que podem afetar o consumo energético de uma economia.

A intensidade do efeito rebote não é consenso e tem sido objeto de discussões acaloradas. Dentre os defensores de que há um efeito rebote pequeno estão Michael Grubb, no

Reino Unido, e Amory Lovins, nos E.U.A. Já importantes opositores dos primeiros são Daniel Khazzoom, nos EUA, e Len Brookes, no Reino Unido, assim como Jevons.

Nas publicações sobre quantificação do efeito rebote foi verificado que há variações grandes dos valores encontrados. Também é salientado por diversos autores que o efeito, por natureza, pode variar bastante entre os setores de uma economia.

Saunders (2000) afirma, com base em outros autores, que “um forte corpo de evidências aponta para efeito rebote sendo relativamente pequeno – na ordem de 5-10%.”

Um trabalho de cunho prático que analisou as políticas de eficiência energética britânicas foi o de Barker *et al* (2007). Nesse trabalho, com a ajuda de simuladores, e com os dados reais de 2000-2007, foi estimado o efeito rebote no Reino Unido, extrapolando-se até 2010. Foi encontrado um efeito macroeconômico (global) de 11% e um efeito direto de 15%, implicando um efeito rebote total de cerca de 26%. O autor analisou o efeito nos diversos setores da economia.

Segundo Andersen (2013), a estimativa para o efeito rebote no setor industrial do Reino Unido é de 15%. Um estudo de 30 setores industriais dos EUA mostra efeito direto de longo prazo de 20-60%, para setores intensivos em energia.

Segundo Barreto (2011), países como Estados Unidos e Holanda apresentaram aumentos de eficiência superiores a 30% de 1975 a 1996; Japão e Austrália, superiores a 50% (o que pode ser aferido pelo índice de intensidade energética que relaciona a quantidade de energia gasta pela produção gerada). Em todos os casos, no entanto, as emissões totais de CO₂ aumentaram mais de 10%, no caso dos três primeiros, mais de 25% (deve ser observado que, além do efeito rebote, ainda temos o crescimento populacional).

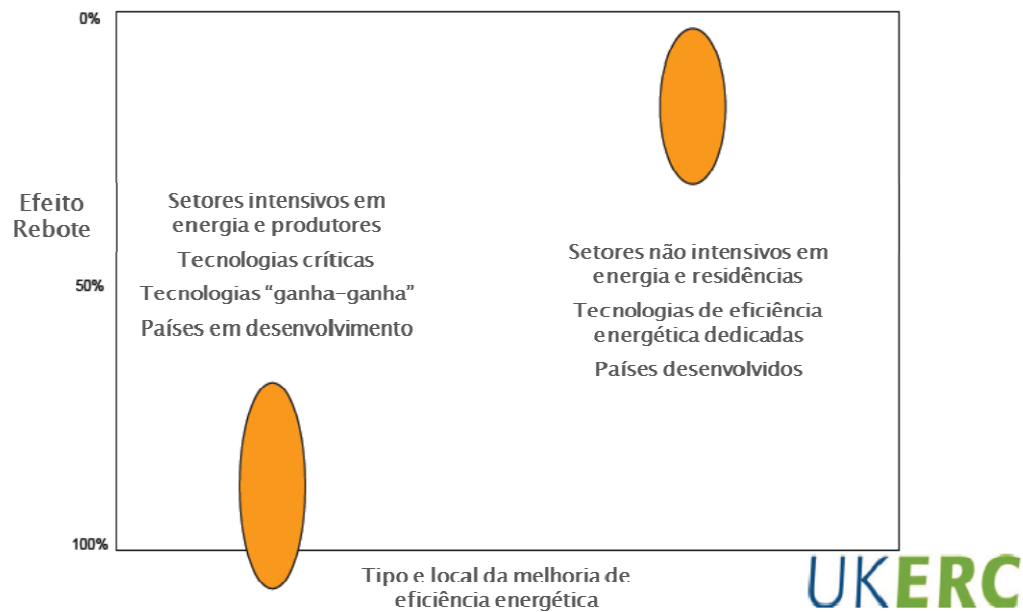
2.5.3. Efeito Rebote no Brasil

Não foram encontrados estudos quantitativos e apenas poucos estudos qualitativos em relação ao Brasil. Como estamos na categoria de países emergentes, pode-se esperar um efeito maior do que em países com renda *per capita* maior e onde a demanda já está saturada

(SORREL, 2007). O gráfico da *Figura 6* mostra alguns fatores e sua relação com o efeito rebote.

Na indústria de petróleo, um setor intensivo em energia, devemos esperar um efeito rebote elevado. De acordo com o exposto, o efeito rebote é real e não desprezível e vem sendo aferido em outros países. No âmbito da Engenharia Ambiental deve-se tentar compreendê-lo melhor e tentar minimizá-lo.

Figura 6 – Influências intensidade do efeito rebote



Fonte: SORREL (2007), adaptado pelo autor

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A PETROBRAS é o maior consumidor de energia do Brasil o que pode aumentar ainda mais com o início de produção de várias plataformas do pré-sal. Em um cenário de preocupação com o aquecimento global, causado pelas emissões de gases de efeito estufa fazem-se necessárias políticas de melhor aproveitamento dos recursos energéticos. Seria de se esperar que todos estivessem engajados nesse propósito, lembrando-se ainda que, na maioria dos casos, há um ganho econômico associado, no entanto o que se observa são mudanças

lentas, decisões políticas equivocadas, desconhecimento e inércia. Seria produtivo se existissem políticas contínuas, que consomem menos recursos financeiros e são mais efetivas, ao invés de políticas reativas em momentos de crise.

Existem oportunidades de melhoria da eficiência energética, nas plataformas marítimas de petróleo. Algumas são medidas simples e imediatas, como o uso de lâmpadas mais eficientes; outras requerem estudos, como é o caso da modificação na configuração de sistemas de bombeio e de sistemas de geração elétrica. Outras, ainda, requerem obras de modificação e atualização de equipamentos e geralmente trazem complicadores no cenário *offshore*, devido a restrições de vagas e ao alto custo da logística de transporte marítimo. Um outro grupo de oportunidades envolve redução da produção, podendo haver aumento nos custos de produção, o que traz implicações políticas. Um aumento no custo de combustíveis, por exemplo, seria pouco popular.

A otimização dos sistemas de geração é uma oportunidade que apresenta boas perspectivas, é algo que vem sendo realizado nas plataformas com estudos simplificados ou empiricamente, redundando em economia de combustível. Para TGs, Costa (1991) realizou estudo com escopo semelhante, com equações simplificadas, devido aos recursos computacionais da época. Esse estudo deve ser revisto, com dados atualizados e refinamento em relação à metodologia de cálculo.

Finalmente foi visto que, para o cenário estudado, é esperado que tenhamos um efeito rebote que pode ter valor elevado. Esse efeito prejudica o ganho ambiental almejado, o que é um alerta para os responsáveis pelas políticas de eficiência energética na PETROBRAS e no Brasil, que devem se aprofundar nessa questão, inclusive realizando mais estudos quantitativos.

O problema pode ser encarado sobre duas perspectivas: uma de cima para baixo e outra de baixo para cima. Na perspectiva de cima para baixo (ações alavancadas pelos dirigentes) deve-se pensar em políticas governamentais e das empresas que se preocupem não somente com a eficiência energética e a conservação de energia, mas também com a redução do consumo total. Essas devem ser realizadas através dos órgãos competentes como ANP e IBAMA, que já tiveram sucesso em relação à redução da queima em tocha. A taxaço das

emissões de gases de efeito estufa é uma maneira efetiva e já vem sendo implementada em vários países (FLANNERY, 2007). Na perspectiva de baixo para cima (ações individuais) pode-se pensar nas razões comportamentais que levam os indivíduos a aumentarem o consumo e procurar reverter essa tendência.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANP - Boletim da Produção de Petróleo e Gás Natural, Março de 2015. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/?dw=75466>. Acesso em: 26 de Maio de 2015.

AGÊNCIA BRASIL. Disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2014-07/mais-de-metade-da-producao-nacional-de-petroleo-saira-do-pre-sal-ja-em-2018>. Acesso em: 22 de Julho de 2014.

ALVARENGA, T. V. e SANT'ANNA, A. P., 2005. Metodologia de análise de RAM por simulação baseada em eventos discretos aplicada à indústria offshore. XXV Encontro Nac. de Eng. de Produção – Porto Alegre.

ANDERSEN, O., 2013. Unintended Consequences of Renewable Energy: Problems to be Solved. London, Western Norway Research Institute, Springer-Verlag. p. 1-30.

BARKER, T., EKINS, P., & FOXON, T., 2007. The macro-economic rebound effect and the UK economy. *Energy Policy*, v. 35, n. 10, p. 4935-4946.

BARRETO, E. S., 2011. Para uma Reinterpretação Marxiana do Nexo Entre Eficiência Energética e Consumo de Energia. ANPEC.

BRAGA, B *et al*, 2005. Introdução à Engenharia Ambiental. São Paulo: Pearson Prentice Hall.

COSTA F., F. H. Offshore Power Generation Reliability and Availability. (Tese de Mestrado realizada no Cranfield Institute of Technology). Cranfield: agosto de 1991.

FLANNERY, T., 2007. Os senhores do clima: Como o homem está alterando as condições climáticas e o que isso significa para o futuro do planeta. Rio de Janeiro: Record.

GREMAUD, P. A. *et al.*, 2004. Manual de economia. 5ª. Ed. São Paulo: Saraiva.

GRUBB, M.J., 1990. Energy efficiency and economic fallacies. *Energy Policy* 18: p.783–785.

IBP. Informativo sobre o pré-sal. Disponível em: <http://www.ibp.org.br/>. Acesso em: 27 jul 2014.

LAFRAIA, J., 2001. - Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade. Qualitymark. Rio de Janeiro.

MIRANDA, M. A. e BRICK, E. S., 2003. Modelo de confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade de sistemas, aplicado a plataformas de petróleo. XXIII Encontro Nacional de Engenheiros de Produção. Ouro Preto-MG.

MIRANDA, M. A. e BRICK, E. S., 2003. Análise de custo de vida útil de sistemas, aplicado a plataformas de petróleo. XXXV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. Natal-RN.

MIRANDA, M. A. e MEIRA, O. G., 2008. Life Cycle Assesment of Turbomachinery for Offshore Applications – Updated with Field Data. XXXVII Turbomachinery Symposium. Houston, EUA.

LOVINS, A. B. e Rocky Mountain Institute, 2013, Reinventando o Fogo. Cultrix / Amana Key. São Paulo.

MORAIS, J. M., 2013. Petróleo em águas profundas: uma história tecnológica da PETROBRAS na exploração e produção offshore. Brasília: Ipea, PETROBRAS.

OREDA, 2009. Offshore Reliability Data, 5ª. Ed. Trondheim: SINTEF Technology and Society.

OREDA, 2014. OREDA Brochure. Disponível em: <http://www.oreda.com/oreda%20brochure.pdf>. Acesso em: 4 ago 2014.

RELIASOFT. Características dos softwares. Disponível em: <http://www.reliasoft.com.br/products.htm>. Acesso em: 27 jul 2014.

SAUNDERS, H. D. A view from the macro side: rebound, backfire, and Khazzoom-Brookes. *Energy policy*, v. 28, n. 6, 2000, p. 439-449.

SORREL, S. Apresentação: The Rebound Effect: Key issues, main findings. UK Energy Research Centre. Energy Institute, London, 2007. Disponível em: <http://www.blakealcott.org/pdf/LaunchSteveReboundPresentation.pdf>. Acesso em 1 ago 2014.

Artigo Científico II

AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE GERAÇÃO ELÉTRICA DE PLATAFORMAS MARÍTIMAS DA BACIA DE CAMPOS

Optimization of Electric Power Generation System of Offshore Platforms in the Campos Basin

Saulo Borges de Souza*
 Marcos Antonio Cruz Moreira**
 Luiz Fernando Rocha de Faria***

RESUMO

A análise da demanda elétrica e dos parâmetros de confiabilidade do sistema de geração elétrica deve ser realizada regularmente e sempre que houver alterações significativas nos equipamentos e processos de uma planta industrial. A partir desses estudos é possível verificar a otimização do sistema de geração elétrica de plataformas de petróleo. Foi realizado um estudo para dois casos típicos de plataformas de produção de petróleo e gás da Bacia de Campos, por meio de modelagem matemática com auxílio de programas computacionais e método comparativo. Concluiu-se pela viabilidade técnica em um dos casos. A otimização do sistema de geração elétrica é uma maneira eficaz de redução de custos e emissões atmosféricas.

Palavras-chave: Eficiência energética, confiabilidade, geração elétrica, plataforma de petróleo.

ABSTRACT

The analysis of power demand and reliability parameters of power generation systems should be carried out regularly and whenever there are significant changes in equipment and processes of an industrial plant. From these studies it is possible to verify the optimization of power generation systems of oil platforms. A study was carried out for two typical cases of oil and gas production platforms in the Campos Basin, through mathematical modeling aided by computer programs and comparative method. It was concluded by the technical feasibility in one case. The optimization of electrical power generating system is an effective way to reduce costs and greenhouse gases emissions.

Keywords: Energy efficiency, reliability, electric power generation, oil and gas platform.

* Mestrando em Engenharia Ambiental pelo IFF, Engenheiro Eletricista pelo CEFET-MG, Engenheiro de Petróleo na PETROBRAS.

**Engenheiro Eletrônico e Doutor em Engenharia Elétrica pela UFRJ e Professor no Curso de Mestrado do IFF.

***Mestre em Engenharia Elétrica pela UFMG, Engenheiro Eletricista pela UFJF, Engenheiro de Equipamentos na PETROBRAS, Professor no Curso de Eng. Produção da Femass-Macaé-RJ

1. INTRODUÇÃO

1.1. Eficiência Energética na Indústria

A eficiência energética é uma área do conhecimento multidisciplinar que abrange especialidades das engenharias e possui interconexões com as ciências sociais. Existe uma tendência de aumento da importância da eficiência energética pelas empresas e pela sociedade devido à preocupação ambiental e ao impacto da emissão de gases de efeito estufa associado à queima de combustíveis fósseis. As medidas de eficiência energética agregam não somente benefícios ambientais, mas benefícios econômicos que podem ser bastante atrativos.

Como a produção de energia elétrica no Brasil é muito dependente das hidrelétricas, a escassez de chuvas, em 2014, causou o aumento da geração térmica e a demanda por gás, pressionando os fornecedores, como a PETROBRAS, e aumentando a importação de GNL (Gás Natural Liquefeito) (PETRONOTICIAS, 2014). Medidas de eficiência energética na PETROBRAS podem disponibilizar mais gás natural e derivados para o mercado, reduzindo a necessidade de importação brasileira.

Em uma plataforma de produção de petróleo, os conjuntos geradores são grandes consumidores de energia primária (gás natural, diesel ou petróleo cru), portanto a variação da sua eficiência tem importante efeito no consumo. A eficiência dos conjuntos geradores varia com o ponto de operação, os projetos são feitos para que seja máxima para operação próxima à potência nominal. Com baixo fator de carga essa eficiência é reduzida, dessa maneira, dois grupos geradores a 40% de carga consomem mais combustível do que um operando a 80% de carga (Ver item 2.5 do Artigo 1).

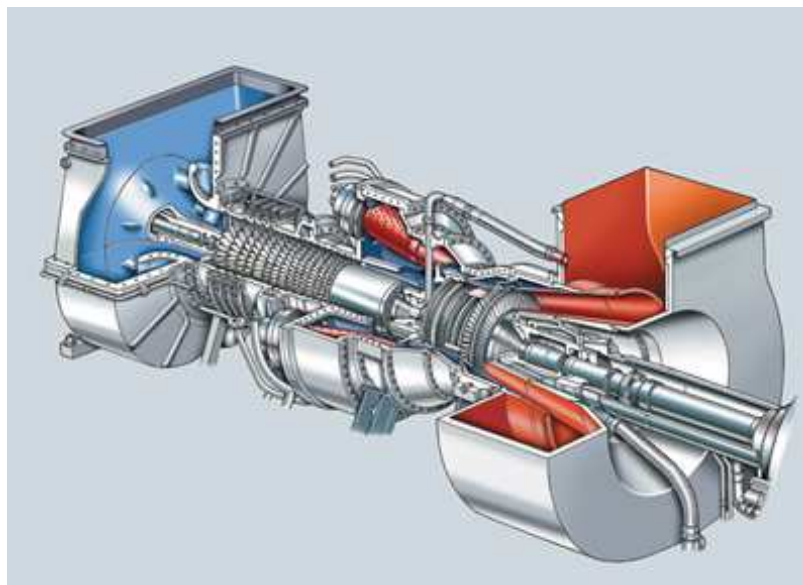
1.2. Engenharia de confiabilidade

A engenharia de confiabilidade trata do estudo da probabilidade de que falhas em sistemas ou equipamento ocorram e de maneiras de prevenção e redução das mesmas. A confiabilidade não é um parâmetro determinístico, mas probabilístico relativo a um

determinado item para um período de tempo e sob um conjunto determinado de condições (COSTA F., 1991).

A confiabilidade de um produto fabricado em série, em grandes quantidades, é algo que pode ser calculado com um grau elevado de confiança. Isso se deve ao fato de o produto, como um disco rígido para computadores ou um pneu, possuir uma variabilidade bastante reduzida. Por outro lado, máquinas complexas como turbinas, como da *Figura 1*, grandes motores ou geradores, apesar de fabricação em série, têm quantidade muito menor de unidades produzidas do que os produtos feitos para o consumidor amplo. Turbo e motogeradores são máquinas que, via de regra, possuem projetos especiais e são customizadas para as condições de operação do cliente, tais como temperatura, umidade, combustível e outras. Além disso a operação e a manutenção, as condições de carga e o regime de operação afetam fortemente os parâmetros de confiabilidade da máquina. Por todos esses motivos, aferir a confiabilidade de grandes máquinas é uma tarefa que exige um conhecimento adequado das mesmas e o envolvimento de especialistas de várias áreas.

Figura 1 – Desenho ilustrativo da turbina Siemens SGT-200



Fonte: SIEMENS (2015)

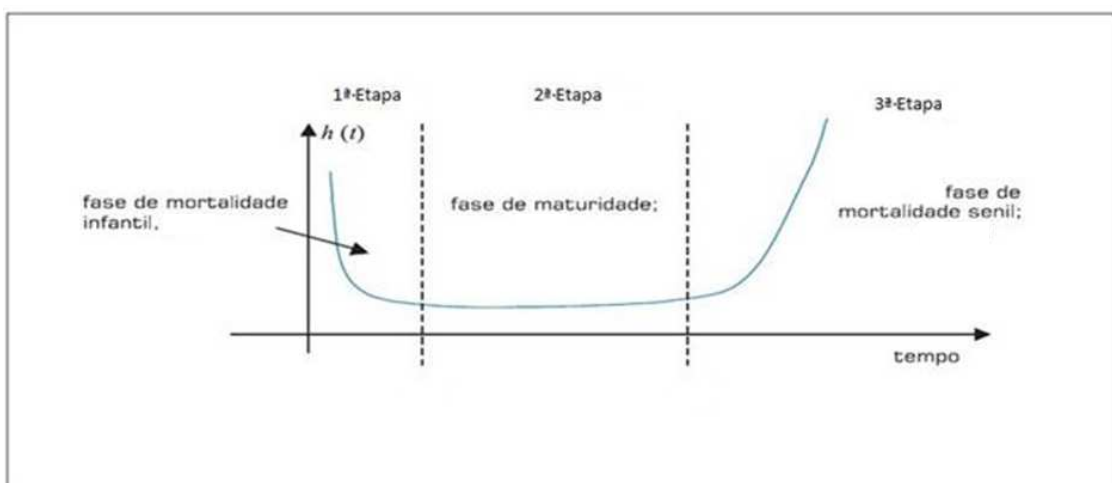
Os parâmetros de confiabilidade de uma instalação são consequência do projeto e da operação. No projeto pode-se optar por maior ou menor número de máquinas, determinadas tecnologias, maior ou menor redundância de sistemas auxiliares. Além disso o sistema de geração elétrica é afetado por outros sistemas da plataforma tais como: água de resfriamento, ar comprimido e segurança. No caso dos acionadores alimentados com gás natural, o próprio

sistema de processamento do petróleo e gás pode afetar o sistema de geração, visto que o gás natural proveniente dos poços precisa ser devidamente tratado antes de ser consumido. Pode-se afirmar que um maior investimento no projeto e construção da plataforma deve resultar em uma planta com maior confiabilidade e disponibilidade (desde que haja competência técnica e financeira na condução do projeto).

A disponibilidade do sistema de geração está relacionada com a operação e a manutenção da plataforma e seus equipamentos. Se forem atendidas as recomendações do projeto e dos fabricantes, certamente haverá menos falhas e o tempo até que ocorram será maior. É comum que ocorram desvios, como composição do gás combustível diferente, temperatura da água de resfriamento e outros. Esses desvios devem ser tratados adequadamente para que não gerem situações de risco, quebra dos equipamentos ou acidentes.

O acompanhamento sistematizado de indicadores de desempenho é um dos métodos utilizados pela engenharia de confiabilidade. A taxa de falha λ , obtida pela função da taxa de falha $h(t) = \lambda$, é um importante parâmetro. A Figura 2 mostra um comportamento típico de um equipamento industrial. O gráfico possui três regiões: 1) período de depuração ou de mortalidade infantil, no início, há uma maior probabilidade de falha; 2) fase de maturidade ou vida útil, quando as falhas ficam reduzidas e aproximadamente constantes; 3) período de desgaste, mortalidade senil ou fim de vida, quando as falhas voltam a aumentar, de forma exponencial.

Figura 2 – Taxa de falha de equipamentos elétricos e mecânicos em função do tempo



Fonte: LAFRAIA, 2001, adaptado pelo autor

1.2.1. Manutenção

A manutenção é um fator que influencia significativamente a disponibilidade de máquinas complexas, que possuem muitos componentes com vida útil variável. “Deve-se ter em mente que não existe boa manutenção no plano absoluto, o que existe é uma manutenção econômica e eficaz, em um dado momento, favorecendo um dado equipamento” (MONCHY, 1989). Existem diversas estratégias que podem ser seguidas, podendo haver algumas diferenças entre os fabricantes ou entre as equipes de manutenção. Em linhas gerais, de acordo com Monchy (1989), tais estratégias podem ser divididas em:

- Preventiva/Programada: envolve os itens que, por experiência, têm desgaste previsto em um determinado tempo e devem ser trocados ou mantidos seguindo um cronograma ou plano de manutenção prévio, antes que venham a falhar.

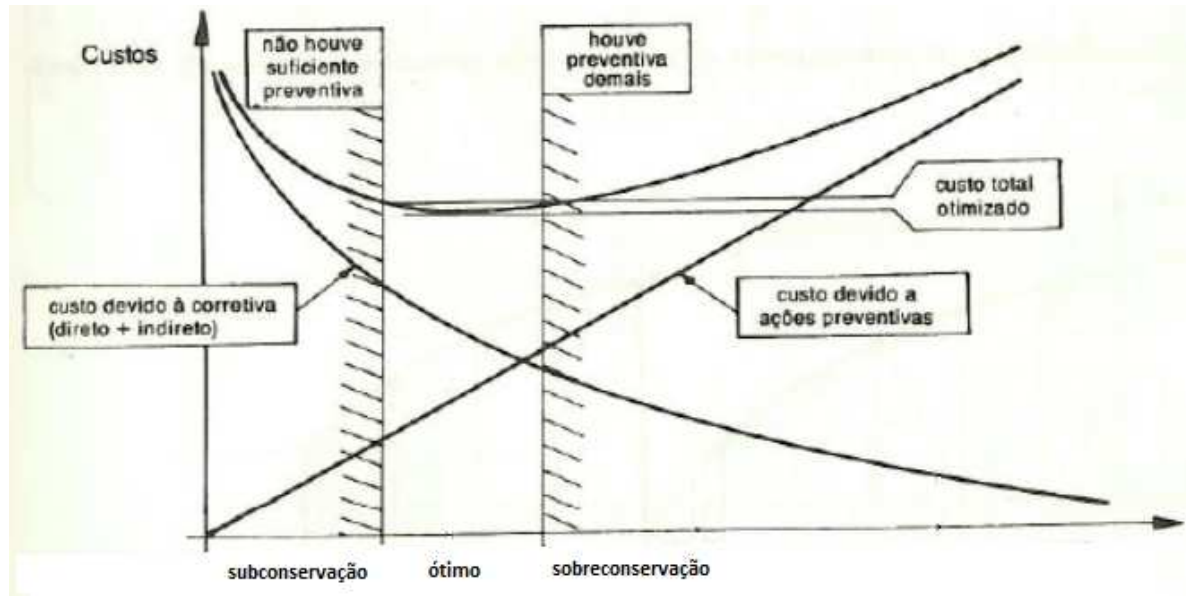
- Preditiva: uma subdivisão da manutenção preventiva, bastante aplicada em máquinas rotativas. “Consiste em coletar sinais de ruídos ou vibratórios nas partes externas da máquina, fornecendo informações sobre os processos de desgaste interno.” Essa definição, na atualidade, não se limita às máquinas rotativas, compreendendo uma série de outras variáveis acompanhadas (pressão, temperatura, corrente elétrica, etc), geralmente com auxílio de gráficos de tendência e ferramentas computacionais. Com esse procedimento é possível postergar manutenções, evitando custos e paradas desnecessários, que podem até inserir novos defeitos na máquina. Também pode-se antecipar uma manutenção, evitando uma quebra com consequências mais graves.

- Corretiva: ocorre quando um componente falha e deve ser trocado ou mantido. Não é desejável que ocorram muitas manutenções corretivas, mas uma estratégia de se esperar que o componente falhe é válida se houver um plano de mitigação. Componentes com falha aleatória, por exemplo, podem ter essa estratégia.

Como mostrado na Figura 3, deve haver um ponto ótimo, ou equilíbrio, entre a quantidade de manutenções corretivas e preventivas. Se houver falta de manutenção preventiva, teremos alto custo de manutenção corretiva e baixo custo com manutenção preventiva e paradas. Do contrário o custo com manutenções preventivas e paradas será muito alto e o custo com corretivas baixo. Outra preocupação é que, na teoria, os tempos de manutenção deveriam ser próximos aos planejados e previstos pela equipe de manutenção. No

entanto, existem tempos de espera devidos a compra e logística de transporte de sobressalentes, limitação de vagas ou de mão-de-obra, entre outros.

Figura 3 – Aspecto econômico relativo às manutenções preventivas/corretivas,



Fonte: MONCHY (1989), adaptado pelo autor

1.3. Configuração k de n

A configuração k de n significa que, dos n equipamentos existentes, k são necessários para a operação normal do sistema, $(n - k)$ equipamentos ficando em *standby*. As plataformas de produção são normalmente projetadas para uma operação com $(n - 1)$ conjuntos geradores, ou seja, $(n - 1)$ atendem à demanda sobre todas as circunstâncias, sendo o momento da partida do maior motor elétrico um momento crítico. Desta maneira:

- Com 2 máquinas, cada uma atende a 100% da demanda;
- Com 3 máquinas, 2 devem atender a 100%, ou cada uma 50%;
- Com 4 máquinas, 3 devem atender a 100%, ou cada uma 33,3%, e assim por diante.

Para as plataformas com turbogeradores temos configurações com 2, 3 e 4 unidades, já para motogeradores a configuração comum é constituída de 3 até 6 unidades. O aumento no número de máquinas demanda um maior investimento e deve resultar em uma maior disponibilidade do sistema e maior flexibilidade de operação, porém ocasiona maior complexidade e maior custo de manutenção.

A geração elétrica é projetada com um fator de segurança, para o caso de a demanda ser maior, prevendo possíveis modificações durante a vida da plataforma. Por outro lado, também pode ocorrer redução na demanda, por diversos motivos, como a redução da produção.

1.4. Objetivos

Apresentar um método para avaliação do sistema de geração elétrica de plataformas de petróleo e aplicá-lo, com um procedimento detalhado, para dois casos típicos de plataformas de produção da Bacia de Campos, uma com turbo e outra com motogeradores. Através dos resultados obtidos fornecer subsídios para a tomada de decisão sobre o número de máquinas a serem operadas.

2. MATERIAL E MÉTODO

Foi realizado um estudo da demanda elétrica de 23 plataformas que possuem geração própria (Ver anexo I), e selecionadas as que tinham oportunidades de otimização. Foram selecionadas 2 plataformas: **PGP-1** (Plataforma de Garoupa-1) e **P-09** (Plataforma PETROBRAS – 9), que possuíam oportunidades de redução no número de máquinas em operação normal, observando-se a configuração do sistema de geração em relação à demanda elétrica, bem como a disponibilidade de dados para o estudo.

A plataforma PGP-1, foi comparada com a plataforma de PPM-1 (Plataforma de Pampo-1), que possui características similares e dados disponíveis. Também foi comparada com P-35 e P-37, em relação ao número de ESDs (*Emergency Shutdown*).

O caso da P-09 é típico de algumas plataformas, quando a demanda está no limiar entre operar um número k ou $k+1$ geradores, e pode ocorrer durante a vida da plataforma, em função da variação da demanda elétrica. Para a plataforma P-09, foram utilizadas as planilhas

de leitura dos operadores e o banco de dados de ESDs e realizada a comparação com outras 3 plataformas: P-07, P-12 e P-15.

2.1. Programas computacionais e bancos de dados de falhas

O avanço das técnicas computacionais tem facilitado a análise de confiabilidade de sistemas complexos, melhorando e tornando possíveis estudos detalhados de confiabilidade. Os *softwares* Blocksim e Weibull da Reliasoft, foram utilizados para cálculos dos parâmetros de confiabilidade que permitiram a análise dos sistemas de geração. Os dados utilizados foram provenientes de fontes diferentes, sendo as principais:

- a) PI (*Plant Information*) – sistema digital de monitoramento e armazenamento de dados de variáveis do processo, amplamente utilizado em plantas industriais;
- b) TurboREM (Turbomáquinas - Registro de Evento de Máquina) – banco de dados com informações detalhadas de falhas em turbomáquinas;
- c) Banco de dados de ESDs (*Emergency Shutdowns*) – em formato de planilha Excel, não possui validação nem padronização de dados, o que dificulta e limita a análise (Anexo II);
- d) Planilha da SITOP – contém dados extraídos diariamente, por uma função macro do Excel (Situação Operacional é um sistema que contém arquivos textos com informações das plataformas, enviados para a base diariamente, Anexo III).

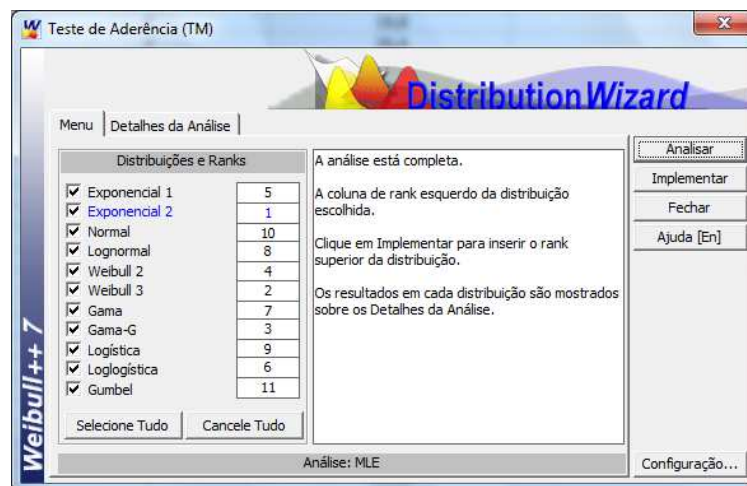
Com base nesses dados foi construído um modelo, por meio dos *softwares* Weibull e Blocksim. Com objetivo de validação dos modelos, foram realizadas reuniões com os especialistas das áreas de turbomáquinas, motores e engenharia elétrica. Os MGs (motogeradores) não possuem banco de dados específico semelhante ao TurboREM e não foram simulados.

Os dados do TurboREM foram analisados em relação a inconsistências. Observa-se que o pequeno volume de dados permitiu a verificação registro por registro, o que não seria possível se a quantidade fosse maior. Não foram notadas muitas inconsistências (divergências de datas, motivos de falha incoerentes, entre outras). Os dados foram formatados para entrada no *software* Weibull procedendo-se a eliminação das linhas dos períodos de *standby*, o agrupamento de falhas consecutivas pelo mesmo motivo em período curto e a correção de

linhas com preenchimento incorreto. O objetivo é que do banco de dados fossem extraídos os TTFs (*Time to Fail* – Tempo até a falha) e TTRs (*Time to Repair* – Tempo para reparo), que foram utilizados para os cálculos subsequentes. A base de tempo utilizada contabiliza os tempos em *standby*, o que é chamado TTF na base calendário.

Os dados de TTFs e TTRs foram inseridos no Weibull para determinação da distribuição estatística mais aderente às suas características. Como, para todos os casos, as amostras foram superiores a 30 registros, utilizou-se como método de análise a Máxima Verossimilhança (MLE) e como método dos limites de confiança a Matriz de Fischer. O software realiza cálculos para 11 tipos de distribuições estatísticas e as ordena de acordo com o grau de aderência (Ver Figura 4). Para ordenamento são feitos 3 testes: Kolmogorov-Smirnov, coeficiente da correlação (reta), razão de similaridade (*log-likelihood value*) aos quais podem ser atribuídos pesos sendo o *default* 4, 1 e 5, respectivamente para o método MLE. Para os dados de TTFs das plataformas PPM-1 e PGP-1 foram utilizadas as distribuições de Weibull com 2 e 3 parâmetros, enquanto que para os TTRs optou-se pela distribuição Lognormal. Essas distribuições, aderentes de acordo com o software Weibull, possuem utilização e interpretação disseminada para esse tipo de dados, de acordo com a literatura (CAVALCA e SILVEIRA, 2000).

Figura 4 – Janela do Weibull para escolha da distribuição estatística dos dados.



Fonte: Print screen feito pelo autor, software Weibull da Reliasoft.

2.2. Condições de Contorno

Um problema pode ter diferentes abordagens e as respostas obtidas vão depender fortemente das condições de contorno fornecidas, bem como do método utilizado para solucioná-lo. As premissas utilizadas são essenciais para obtenção de um resultado coerente. A seguir estão as condições de contorno utilizadas nesse estudo:

- Demanda elétrica;
- Configuração do sistema de geração (quantidade de conjuntos geradores instalados, em operação e suas características);
- Dados de confiabilidade do sistema de geração.

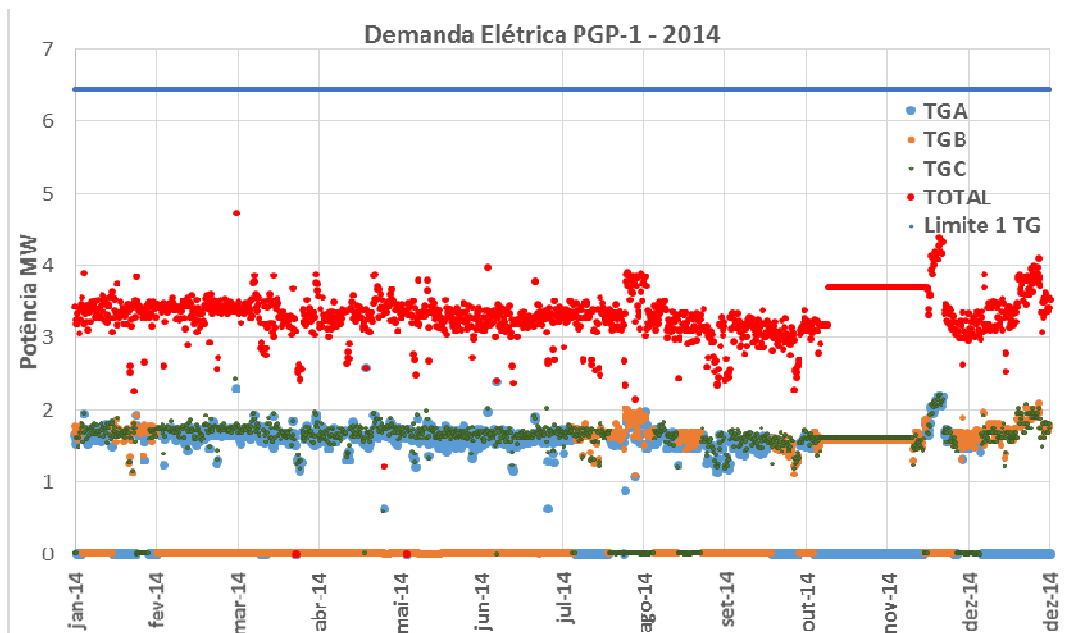
Para a otimização da geração é necessário o conhecimento da demanda elétrica da plataforma, que varia de acordo com a produção, características da planta industrial e condição e configuração dos equipamentos. Esse estudo analisou a demanda de plataformas da UO-BC (Unidade Operacional de Exploração e Produção da Bacia de Campos), através de registros do PI, registros em planilhas eletrônicas ou informações dos operadores, seguindo essa ordem de prioridade. Para algumas plataformas foram encontradas falhas que impediram uma boa aferição dos dados (problemas na rede de automação ou na instrumentação, por exemplo em transdutores), não tendo sido considerados nesse estudo, portanto.

Frequentemente a potência nominal dos acionadores (turbinas a gás, vapor ou motores) difere da potência disponível real, devido a restrições decorrentes de condições de operação e desgaste. A condição real deve ser averiguada com o setor de engenharia responsável. Os geradores elétricos, normalmente são sobredimensionados em relação aos acionadores e, em poucos casos, são limitadores da potência do grupo gerador, no entanto suas condições também devem ser verificadas. As características e condições de contorno dos sistemas de geração das plataformas estudadas estão detalhadas nos itens a seguir.

2.2.1. Demanda Elétrica e Configuração dos Sistemas Elétricos PGP-1, PPM-1 e P-09

A plataforma PGP-1 apresentava, em 2014, demanda elétrica variando entre 3 e 4MW (Figura 5). A configuração de operação utilizada nesse período era de 2 TGs (Turbogeradores) em operação e 1 em *stand-by*. Pode-se ver na Figura 5 que a demanda é dividida entre os 2 TGs em operação, pelo controlador de carga, de forma equilibrada. Para melhor visualização (como os valores se sobrepõem) os pontos foram escolhidos com tamanhos diferentes. Nos meses de outubro e novembro houve falha no registro dos dados.

Figura 5 – Demanda elétrica de PGP-1 total e por TG, 2014.



Fonte: PETROBRAS (2015), gráfico elaborado pelo autor

A potência ISO⁴ de cada um dos 3 acionadores é de 8,1MW e a **potência site**⁵ é de **6,4MW**. Os acionadores são turbinas a gás da Hispano Suíza, modelo THM 1304/8. Os respectivos geradores elétricos possuem **potência nominal de 9MVA** cada e são do fabricante BBC (Brown Boveri Company), modelo WG 710 mrb4.

PGP-1 é uma plataforma central que realiza o enquadramento do petróleo e o rebombeio para o TECAB (Terminal de Cabiúnas), cujo *shutdown* interrompe a produção própria e dos

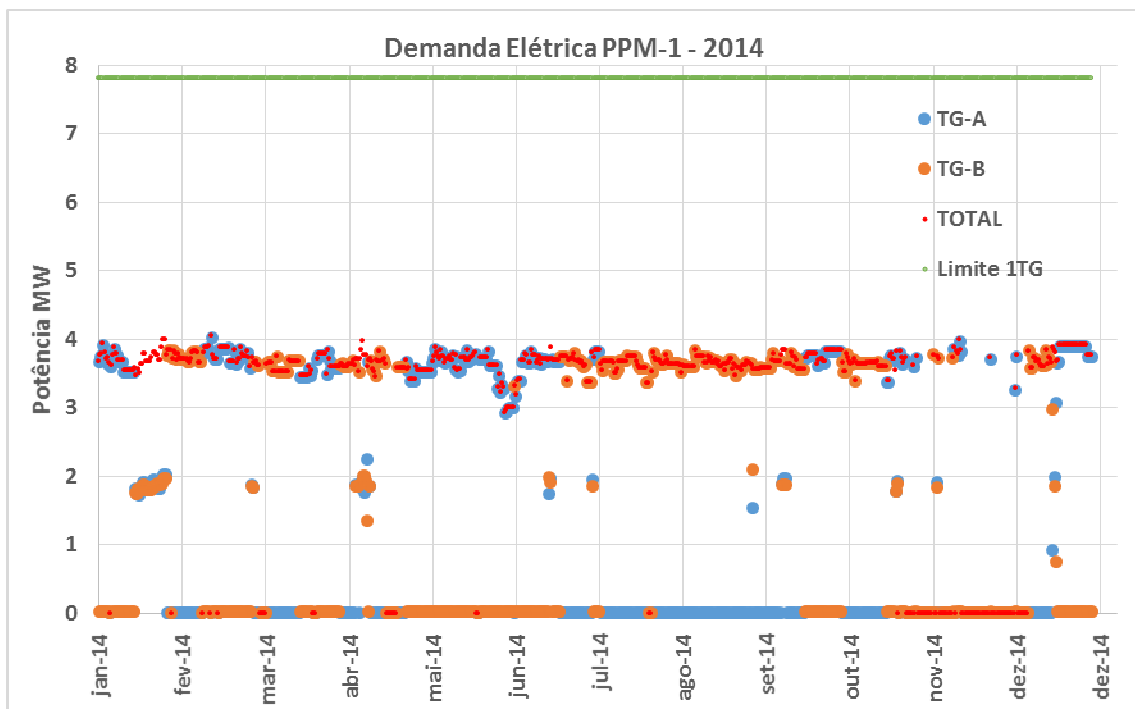
⁴ Potência ISO (International Standard Organisation): potência de uma turbomáquina nova testada em fábrica, para um combustível com poder calorífico específico, humidade e em condições padrão de 1 atm e 15°C.

⁵ Potência site: potência real nas condições do local de instalação, calculada a partir da potência ISO de acordo com um método especificado pelo fabricante e levando em consideração perdas de potência associadas.

polos Norte (5 plataformas) e Nordeste (6 plataformas). Qualquer modificação em seu modo de operação deve ser estudada com bastante critério.

A plataforma PPM-1 apresentava, em 2014, demanda elétrica em torno de 3,7MW (Figura 6). A configuração de operação utilizada nesse período era de 1 TG em operação e 1 em *stand-by*. Quando se opera com 1 TG a potência do TG é equivalente à total. Podem ser vistos, no gráfico da Figura 6, que existem momentos quando os 2 TGs estão em operação, como no mês de janeiro, nesses momentos a potência total será a soma das potências individuais dos TGs.

Figura 6 – Demanda elétrica de PPM-1 total e por TG, 2014



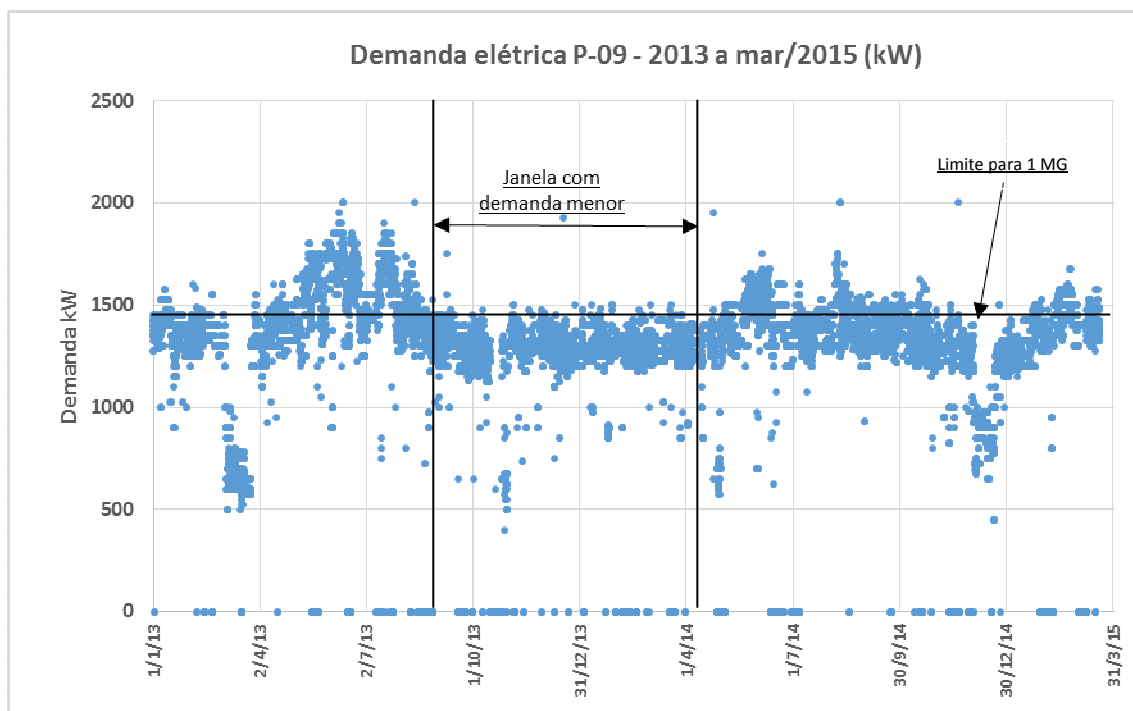
Fonte: PETROBRAS (2015), gráfico elaborado pelo autor

A potência ISO de cada um dos 2 acionadores é de 9,7MW e a **potência site** é de **7,8MW**. Os acionadores são turbinas a gás da Hispano Suiza, modelo THM 1304/10. Os respectivos geradores elétricos possuem **potência nominal de 8,125MVA** cada e são do fabricante Siemens, modelo 1DU-6436-9FF 12Z. Ao contrário de PGP-1, PPM-1 não é uma plataforma central, visto que tratava óleo próprio e da P-12, que está sendo desmobilizada.

Entre 2013 a março de 2015, a plataforma P-09 possuía demanda elétrica no limiar ou um pouco acima da capacidade de um único gerador utilizando normalmente 2 MGs simultaneamente (Figura 7). Essa condição de demanda elétrica pode ocorrer em algum momento da vida da plataforma, devido a alterações nas condições de produção.

Os acionadores dos geradores dessa plataforma são 4 motores da GM (General Motors), modelo EMD 16-645E8, com **potência nominal de 1450kW**. Os respectivos geradores são da GM, modelo AB20-6 e **potência nominal 2,625MVA**.

Figura 7 – Demanda elétrica P-09, 2013 a 2015



Fonte: PETROBRAS (2015), gráfico elaborado pelo autor

Foram analisados 19.392 registros de demanda elétrica das planilhas de leitura da P-09, relativos ao período de 2013 a março de 2015. Destes, 1375 têm valor 0 (nulo) e foram desconsiderados. A entrada de dados nas planilhas é feita de maneira manual, podendo haver, eventualmente, erros de digitação. O histograma dos registros se encontra na

Figura 8, abaixo.

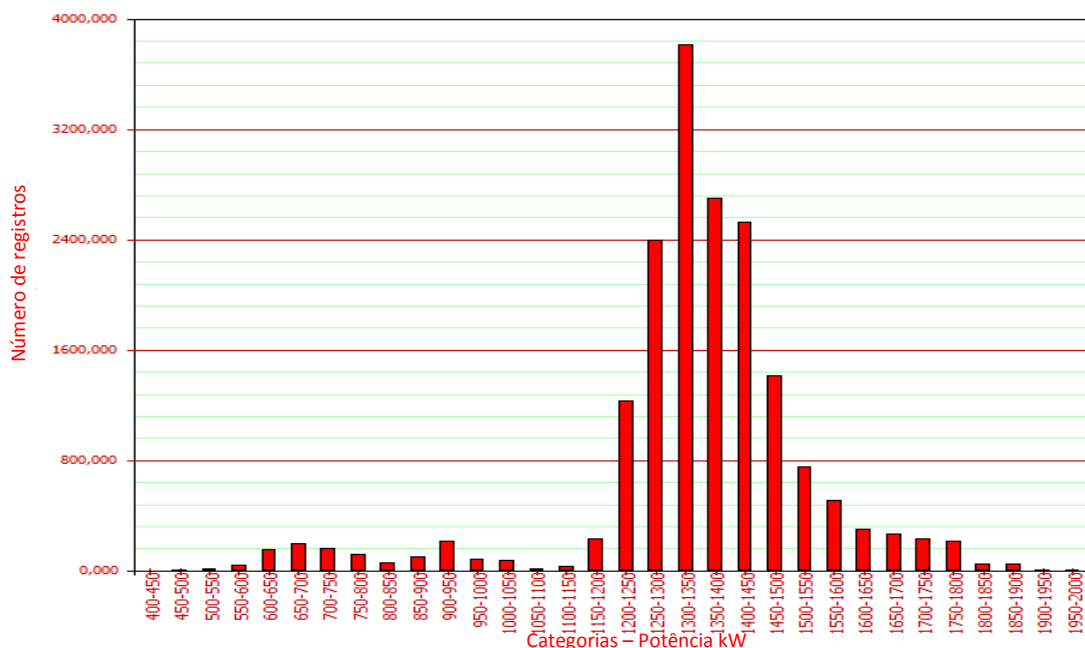
A Tabela 1 detalha os registros em relação ao número de MGs em operação. Quando a demanda está baixa, tipicamente menor que 800kW, utiliza-se apenas 1 MG. Em uma faixa intermediária de 800 a 1000 kW é comum serem utilizados 2 MGs. Acima de 1000 kW são utilizados 2 MGs, como regra. Os 139 registros, de 3 MGs em operação, se devem a testes ocorridos no período.

Tabela 1 – Registros de demanda X número de MGs em operação.
P-09, período: 2013 a 2015.

Número de MGs em operação	Registros	Percentual %
1 MG	1.035	5,7
2 MGs	16.843	93,5
3 MGs	139	0,8
TOTAL	18.017	100,0

Fonte: PETROBRAS (2015)

Figura 8 – Histograma dos registros de demanda elétrica da P-09, 2013 a 2015. Média: 1331kW, $\sigma=197kW$.

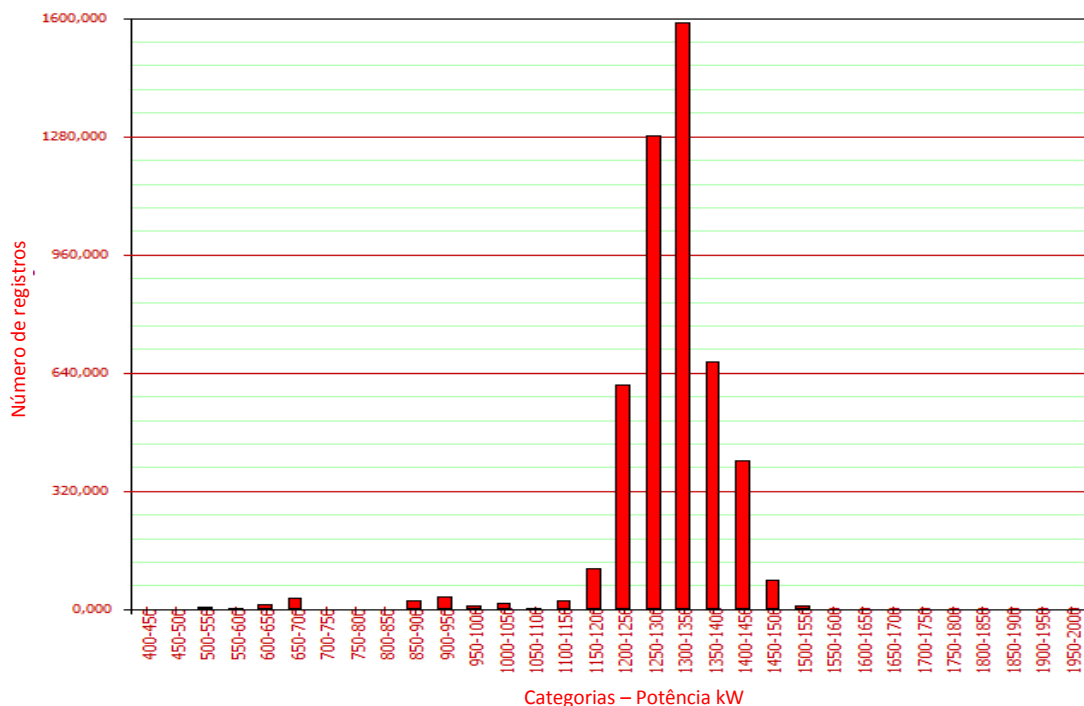


Fonte: PETROBRAS (2015), gráfico elaborado pelo autor

Na Figura 9, encontra-se um histograma do período delimitado na Figura 7, entre set/2013 a mar/2014, quando a demanda estava mais baixa. Nesse período temos uma média de 1286kW, e um desvio padrão de 108kW (se for considerado o valor médio e o desvio padrão, poderia ser possível operar apenas 1 MG, porém com pouca margem de segurança).

Figura 9 – Histograma dos registros de demanda elétrica da P-09, set/2013 a mar/2014.

Média: 1286kW, $\sigma=108kW$.



Fonte: PETROBRAS (2015), gráfico elaborado pelo autor

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Plataformas com turbogeradores

O TurboREM possui interface para cálculo de diversos índices relativos às turbomáquinas. Os dois mais utilizados são o ID (Índice de Disponibilidade) e o TMF (Tempo Médio até a Falha, equivalente ao MTTF *Mean Time to Fail*). A Figura 10 mostra

uma das janelas do TurboREM utilizadas para visualização do TMF. A definição dos índices se encontra a seguir:

$$ID = \frac{\text{horas disponíveis}}{\text{tempo do período}} \quad (\text{Eq. 1})$$

Horas disponíveis = tempo do período – (horas preventivas + horas corretivas)

$$TMF = \frac{\text{horas operadas}}{n^{\circ} \text{ falhas}} \quad (\text{Eq. 2})$$

TMF → n°. falhas = total de falhas excluindo falhas na partida e falhas externas

TMF_{Cheio} → n°. falhas = total de falhas excluindo falhas na partida

Figura 10 – Interface do TurboREM com saída de índices relativos às turbomáquinas

Ativo	Plataforma	Tipo Máquina	Máquina	TMF
ATP-NE	PGP-1	TG	TGA	1210,08
			TGB	1279,53
			TGC	836,98

Fonte: Print screen feito do sistema TurboREM, PETROBRAS

A segunda fonte de dados utilizada foi a planilha da SITOP (dados disponíveis a partir de 2012), cujos valores de ID estão coerentes com os dados do TurboREM para o mesmo período (Tabela 2). A planilha da SITOP é adequada para análise de períodos longos (maiores que 1 mês), não sendo adequada para eventos com duração menor que um dia.

Tabela 2 – Índices de confiabilidade de PPM-1 e PGP-1.

Plataforma	PPM-1			PGP-1			
	TG-A	TG-B	PPM-1*	TG-A	TG-B	TG-C	PGP-1*
TurboREM – de jan/2012 a mar/2015							
ID	94,3	86,0	90,2	93,4	64,8	83,9	80,7
TMF (dias)	151,9	76,1	114,0	195,0	140,4	81,4	138,9
TMF _{Cheio} (dias)	90,2	73,4	81,8	48,2	140,4	43,0	77,2
Planilha SITOP – de jan/2012 a mar/2015							
ID	96,8	89,1	92,9	94,0	67,7	83,2	81,6
TurboREM – de jan/2010 a mar/2015							
ID	94,3	89,2	91,7	91,0	75,3	73,0	79,8
TMF (dias)	140,6	81,5	111,0	160,3	127,7	68,4	118,8
TMF _{Cheio} (dias)	101,9	79,8	90,8	44,0	112,7	42,4	66,4

*Fonte: Produção do autor, dados PETROBRAS (2015). *Média da plataforma*

Para o modelo de confiabilidade, foram utilizados dados de falha do TurboREM de janeiro de 2010 a março de 2015. Os sistemas de geração de PGP-1 e PPM-1 foram simulados no software Blocksim, o qual, a partir das distribuições estatísticas mais aderentes aos dados de confiabilidade (TTF) e manutenibilidade (TTR), calcula a disponibilidade esperada do sistema. Os valores de ID simulados no Blocksim (Tabela 3) estão próximos dos valores registrados no banco de dados TurboREM e SITOP (Tabela 2). Ressalta-se que o ID do sistema elétrico (Tabela 3) é conceitualmente diferente do ID médio dos TGs (Tabela 2). Para o sistema, enquanto a demanda elétrica estiver sendo atendida (no caso de PPM-1 e PGP-1, por 1 TG), o mesmo é considerado disponível (ver Eq. 1). O ID médio é a média simples dos IDs de cada TG.

Pode ser visto que os TGs de PPM-1 têm disponibilidade (TG-A=92,9% / TG-B=88,0%) maior que os de PGP-1 (TG-A=91,2 / TG-B=76,7 / TG-C=76,6). A redundância menor em PPM-1 tem como consequência um risco maior, no caso de indisponibilidade de máquinas. Por isso, a agilidade e prioridade no fornecimento e logística de peças de reposição é maior para PPM-1, que realiza suas manutenções em tempos mais curtos.

Tabela 3 – Índices simulados no Blocksim (período de 1 ano), dados de 2010 a mar/2015

Plataforma	PPM-1			PGP-1			
	Máquina/Sistema	TG-A	TG-B	PPM-1*	TG-A	TG-B	TG-C
ID %	92,9	88,0	99,2	91,2	76,7	76,6	99,8
σ (ID) %	7,5	12,7	2,0	8,9	22,2	21,3	0,8
Tempo indisponível (dias)	25,9	43,9	3,05	32,1	85,0	85,4	0,72
Falhas esperadas	10,5	12,4	2,1	13,6	7,8	9,5	0,6
σ (Falha esperada)	4,1	5,1	2,3	3,5	3,2	3,7	1,2

Fonte: Produção do autor, dados PETROBRAS (2015)

**Índices relativos ao sistema de geração*

Em relação ao ID dos sistemas de geração de PPM-1 e PGP-1, nota-se que os valores reais (Tabela 2) são maiores que os obtidos na simulação (Tabela 3) e o tempo indisponível é menor. Isto acontece pois, na prática, os operadores e mantenedores alteram planos ou anteveem manutenções para que os sistemas elétricos não fiquem indisponíveis. A indisponibilidade dos TGs pode penalizar contratualmente a empresa responsável pela

operação e manutenção dos mesmos, o que faz com que ações rápidas sejam tomadas em eventos que causem perda de produção. O modelo estatístico não considerou esse fato.

Apesar dos valores de TMF dos TGs serem parecidos entre PGP-1 e PPM-1 (Tabelas 2 e 3), observando-se as quantidades reais de ESDs (Tabela 4), verifica-se que PGP-1 possui um sistema de geração elétrica mais confiável, devido à sua configuração. Caso ocorra problema restrito a um dos TGs, na maior parte dos eventos os sistemas de proteção conseguem isolá-lo e o outro TG assume a carga total, evitando um ESD. A simulação indicou um valor alto de disponibilidade para PGP-1 (ID=99,8%), confirmado na prática. A plataforma já está há mais de 4 anos sem ESD devido à geração elétrica.

Tabela 4 – Número de ESDs e MTBF relativos sistema de geração elétrica, 2010 a mar/2015

Plataforma	ESDs	MTBF (dias)	Máquinas em operação normal	Total de máquinas	Início de produção	Tipo
PGP-1	3	638,3	2	3	1979	Fixa
PPM-1	19	100,8	1	2	1984	Fixa
P-35	22	87,0	3	4	1998	FPSO
P-37	20	95,8	1	2	2000	FPSO
P-07	11	174,1	2*	3	1988	SS
P-09	5	383,0	2	4	1983	SS
P-12	8	239,4	1**	4	1984	SS
P-15	6	319,2	1	4	1983	SS

Fonte: Produção do autor, dados PETROBRAS (2015)

**Operando 1 MG, desde junho de 2014. **Em desmobilização desde 2º. Semestre/2014*

A plataforma P-37, um FPSO (*Floating Production, Storage and Offloading*), que possui configuração semelhante a PPM-1, apresentou número de ESDs próximo, conforme *Tabela 4*, confirmando as expectativas. Por outro lado, a P-35, outro FPSO, não tem apresentado vantagens de uma configuração com mais máquinas, sendo candidata para um estudo. Nessa plataforma, ocorrem muitos ESDs por falhas externas, como as do sistema de gás combustível, que afetam todas as máquinas além de problemas no sistema de proteção.

3.2. Plataformas com motogeradores

Para a plataforma P-09 não foram simulados os parâmetros de confiabilidade dos MGs, pois não havia banco de dados de falhas disponível. A P-09 e outras 3 plataformas semi-

submersíveis (SS) analisadas possuem características construtivas bastante similares, com modelos dos motores e geradores idênticos. Essas plataformas não possuem sistema de descarte de cargas⁶ (SDC), desta maneira a queda de 1 MG normalmente provoca a queda de outro que esteja operando simultaneamente

Os motores são máquinas confiáveis com taxa de falhas críticas (que provocam o desligamento da máquina) $\lambda=38,41 \times 10^{-6} \text{ h}^{-1}$, menor que de turbinas $\lambda=341,55 \times 10^{-6} \text{ h}^{-1}$, equivalentes aos TMFs 1085 dias e 122 dias respectivamente (OREDA, 2009). É um fato que plataformas que operam com apenas 1 MG têm menos ESDs que plataformas que operam com 1 TG. A taxa de falha dos acionadores e a configuração de operação influenciam a confiabilidade do sistema de geração, como pode ser visto pelo número de ESDs, na Tabela 4.

A partir dos dados da Tabela 4, provenientes do banco de dados de ESDs, conclui-se que, para as plataformas avaliadas, o número de MGs em operação não possui influência no número de ESDs e o MTBF é da ordem de 1 ano (174,1 a 383 dias). Pela curva do fabricante do motor, a operação com 1 MG a 1300kW consome 7,46 m³/dia, enquanto que com 2 MGs (2 x 650kW) são consumidos 8,92 m³/d de diesel, havendo economia de 1,46 m³/d de diesel.

A principal questão em plataformas com MGs é se a configuração com menos máquinas atende à demanda elétrica da plataforma. Questões relativas à confiabilidade do sistema de geração (com características semelhantes aos analisados) são pouco relevantes.

4. CONCLUSÕES

Esse artigo apresentou uma metodologia de análise da eficiência de sistemas de geração elétrica de plataformas de petróleo. Foram utilizadas ferramentas computacionais e diferentes fontes de dados para análise da otimização desses sistemas, frequentemente realizada de forma superficial ou empírica por técnicos e gestores. Conclui-se que o risco de implementação de uma mudança de configuração sistêmica, analisados nesse artigo, deve ser ponderado em relação ao benefício almejado.

⁶ Sistema de Descarte de Cargas: sistema de proteção dos geradores que efetua desligamento de cargas elétricas, quando a potência de geração é inferior à potência demandada, seguindo uma ordem de prioridade.

A PETROBRAS, como maior consumidor de energia do Brasil, tem responsabilidade na utilização racional dos recursos energéticos e pode servir de exemplo. A indústria em geral vem apresentando inovações em seus processos e plantas e as empresas petrolíferas também possuem meios para melhorar sua eficiência energética.

O sistema de geração elétrica da plataforma P-07 foi otimizado em 2014. Como analisado neste estudo, caso ocorra uma redução da demanda elétrica da plataforma P-09, a partir do aumento de sua eficiência energética (cargas industriais e utilidades), pode ser possível implementar a otimização de seu sistema elétrico, com a alteração de configuração de operação dos atuais 2 motogeradores para 1 motogerador. Esta alteração deve ser procedimentada e acompanhada pelo setor de engenharia responsável.

Para sistemas elétricos compostos por turbogeradores, além da análise de dados de demanda elétrica, deve ser feita uma análise criteriosa da confiabilidade do sistema, em função de sua maior complexidade. Este estudo mostrou que a otimização da configuração do sistema elétrico da plataforma PGP-1 apresenta um risco de redução de confiabilidade, uma vez que haveria a redução dos atuais 2 turbogeradores em operação para apenas 1 turbogerador e conseqüente perda de redundância. Este fato se torna ainda mais crítico pela importância da localização da PGP-1 na malha de escoamento da bacia de Campos (plataforma central).

Observou-se que a falta ou baixa qualidade de dados de falha são fatores dificultadores para a aplicação da metodologia proposta neste estudo. Recomenda-se a criação de bancos de dados de falhas mais robustos para os sistemas de geração elétrica. Também é recomendada a melhoria do banco de dados de ESDs (*Emergency Shutdowns*), com a padronização dos motivos e validação de dados, para que possam ser feitas análises mais aprofundadas de maneira prática. A metodologia utilizada nesse artigo pode ser aplicada para outras plataformas, sob diferentes condições.

As políticas de eficiência energética devem estar coordenadas com um objetivo mais amplo do que a redução de custos ou consumo de combustível, devido ao efeito rebote. Do contrário as reduções de emissões no nível micro podem não ser efetivas no nível macro. Os órgãos competentes devem traçar metas de redução, que podem ser efetivadas com auxílio de

índices de eficiência. A taxação das emissões de gases de efeito estufa seria uma medida importante para efetivação dessas políticas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAVALCA , K. L. e SILVEIRA, Z. C. 2000. Apostila: “Confiabilidade em Engenharia.” UNICAMP, Campinas-SP.

COSTA F., F. H. Offshore Power Generation Reliability and Availability. (Tese de Mestrado realizada em Cranfield Institute of Technology). Cranfield: agosto de 1991.

LAFRAIA, J., 2001. - Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade. Qualitymark. Rio de Janeiro-RJ.

MIRANDA, M. A. e BRICK, E. S., 2003. Modelo de confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade de sistemas, aplicado a plataformas de petróleo. XXIII Encontro Nacional de Engenheiros de Produção. Ouro Preto-MG.

MONCHY, F., 1989, A Função Manutenção. Editora Durban Ltda. São Paulo-SP.

PETRONOTÍCIAS. Informativo on-line de 07/jul/2014: Petrobrás deve continuar a importar gnl no mercado de curto prazo. Disponível em: <http://www.petronoticias.com.br/>. Acesso em: 8 mai 2015.

OREDA: Offshore Reliability Data, 5^a. Ed. Trondheim: SINTEF Technology and Society, 2009.

SIEMENS. Ilustração de Turbina SGT-200. Disponível em: <http://www.energy.siemens.com>. Acesso em: 11 mai 2015.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anuário ONU – UNEP, 2011. Towards a Green Economy - Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication - A Synthesis for Policy Makers. Acesso em 17/06/2013 em http://www.unep.org/greeneconomy/Portals/88/documents/ger/0_RenewableEnergy.pdf..

KALETSKY, A., 2015. A New Ceiling for Oil Prices. Project Syndicate. Disponível em: <http://creditagricole.memofin.fr/uploads/library/pdf>. Acesso em: 28 abr 2015.

LOVINS, A. B., 2012. A Farewell to Fossil Fuels Answering the Energy Challenge. Revista Foreign Affairs. Volume 91 No. 2.

O DEBATE ON. Informativo on-line de 25/abr/2015: Preço do barril de petróleo e alta do dólar elevam a parcela dos royalties. Disponível em: <http://www.odebateon.com.br/>. Acesso em: 11 mai 2015.

PETROBRAS, 2011. Revista PETROBRAS. Ano 17, nº. 171, set/out 2011.

PETROBRAS. Destaques do Plano de Negócios 2030 e do Plano de Negócios e Gestão 2014-2018: <http://www.PETROBRAS.com.br/fatos-e-dados/confira-os-destaques-do-plano-estrategico-2030-e-do-png-2014-2018.htm>. Acesso em 27 de julho de 2014.

ANEXO 1 - ANÁLISE DE DEMANDA E POTÊNCIA ELÉTRICA DISPONÍVEL DE PLATAFORMAS DA UO-BC

OBS.: os nomes das plataformas foram trocados por nomes fictícios, para fins de proteção da informação.

Legenda:

VERDE: Já otimizado.

LARANJA: Pode ser estudada otimização, demanda próxima da disponível.

VERMELHO: Possibilidade de otimização.

Potência limite de geração: É dada pelo equipamento limitante: ou o gerador elétrico ou o acionador (motor ou turbina). Normalmente o limitante é o acionador (reta horizontal superior da figura), mas em alguns casos pode ser o gerador. O limite da potência ativa do gerador (eixo vertical) dependerá do fator de potência relativo às cargas e está indicada na figura abaixo pela curva de capacidade do gerador.

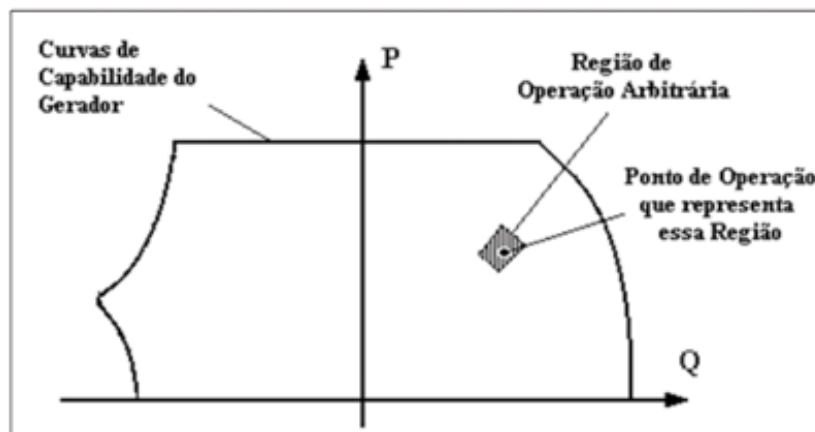


Figura 1: Regiões do plano PxQ usadas no projeto do ESP

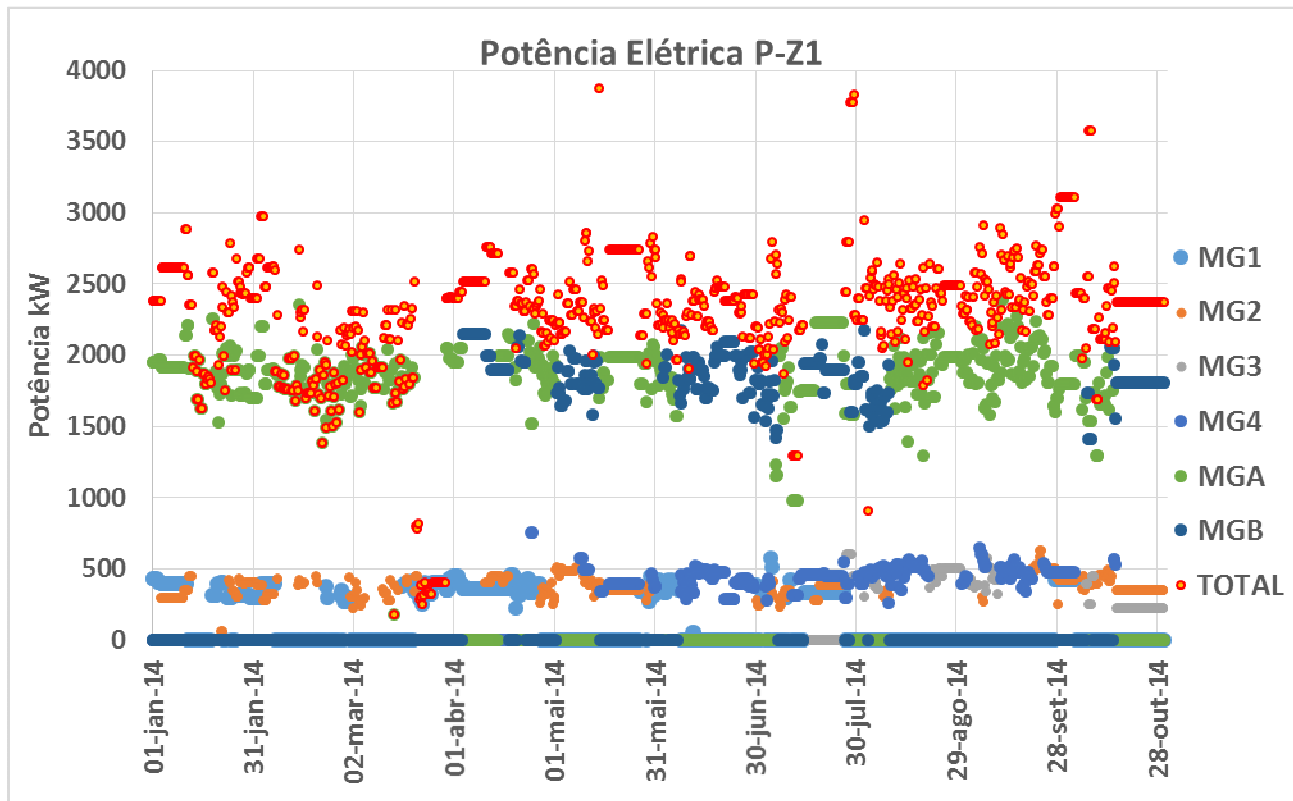
Potência ISO, Nominal X Potência real: A potência ISO de uma turbina é especificada em condições ideais e é maior do que a potência em condições reais. A potência nominal de uma máquina, como um motor, é a potência especificada para o equipamento novo, que pode ser reduzida por algum problema operacional. Para especificar a potência real são aplicados fatores de segurança relativos às condições de operação.

Sistema de descarte de cargas: Serve para manter a operação dos geradores dentro dos limites especificados pelos fabricantes. Quando o limite é ultrapassado é enviado comando para desligamento de cargas de acordo com uma tabela de prioridades, isso normalmente ocorre quando há queda de um ou mais geradores e as máquinas restantes assumem a carga da plataforma. A maioria das plataformas tem o sistema funcionando, mas algumas necessitam operacionalizá-lo.

P-Z1

Pela planilha da SITOP, normalmente se opera 1 MG Wartsilla (2960kW) e dois Bergen (Nominal: 1500kW, real menor que 1000kW), sendo a demanda menor que 3000kW, porém com monitoramento feito manualmente e pouco confiável. É candidata à otimização.

Informado que: “Devido à limitação dos motores diesel Bergen e à baixa confiabilidade das duas plantas de geração de energia, a operação opta por colocar mais um terceiro MG para operar, mesmo que em alguns momentos apenas um ou dois atendam a toda a demanda.”



P-Z2

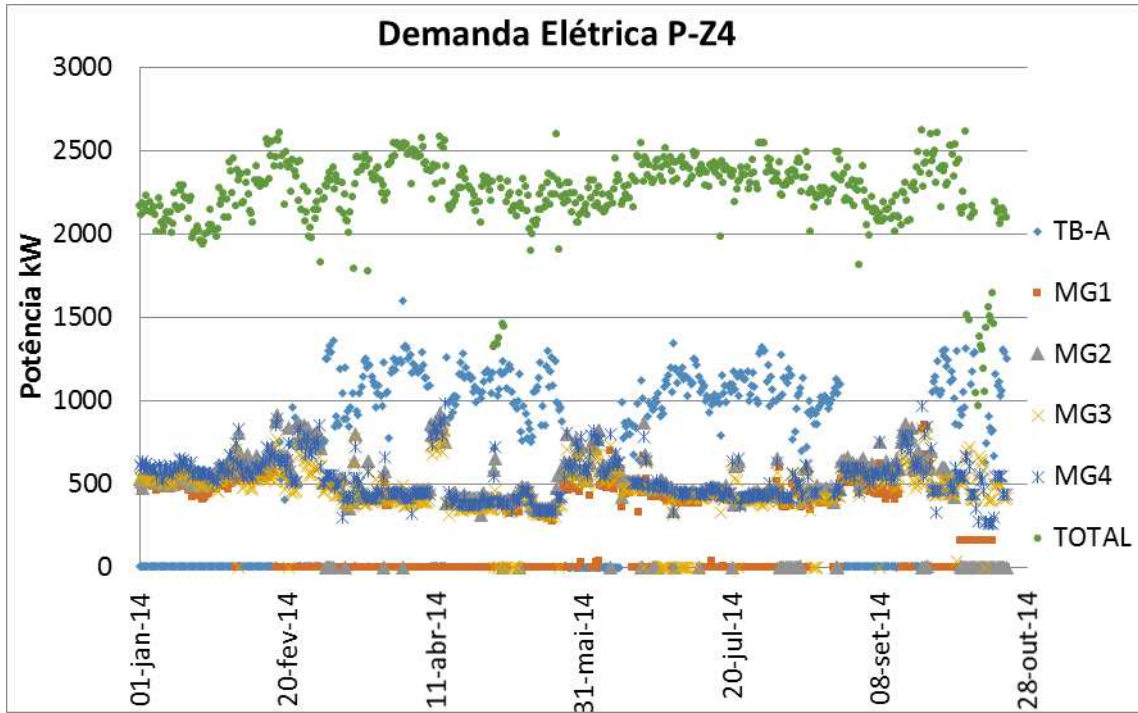
Plataforma opera normalmente com 2 MGs de 1450 kW e uma demanda que varia de 1200 a 1500 kW, não possui monitoramento digital. *Necessitaria uma redução na demanda para operar com 1 MG.* No entanto a sonda, que introduz picos de demanda, está operando, e necessita 2 MGs. Deve ser estudada a necessidade da sonda enquanto a mesma operar.

P-Z3

Plataforma opera normalmente com 3 ou 2 MGs e com uma demanda em torno de 2800 kW (**confirmar**) monitoramento digital – PI – apresenta problema. Possui 4 MGs com motor de 2250 kW e 2 MGs com motor de 3000 kW (MGs 5 e 6, sendo que o MG-5 está em manutenção e sem previsão de retorno). Pode operar 2 MGs, como já faz (plataforma procura operar 3 quando o MG-6 não está operando). Pode-se estudar a otimização.

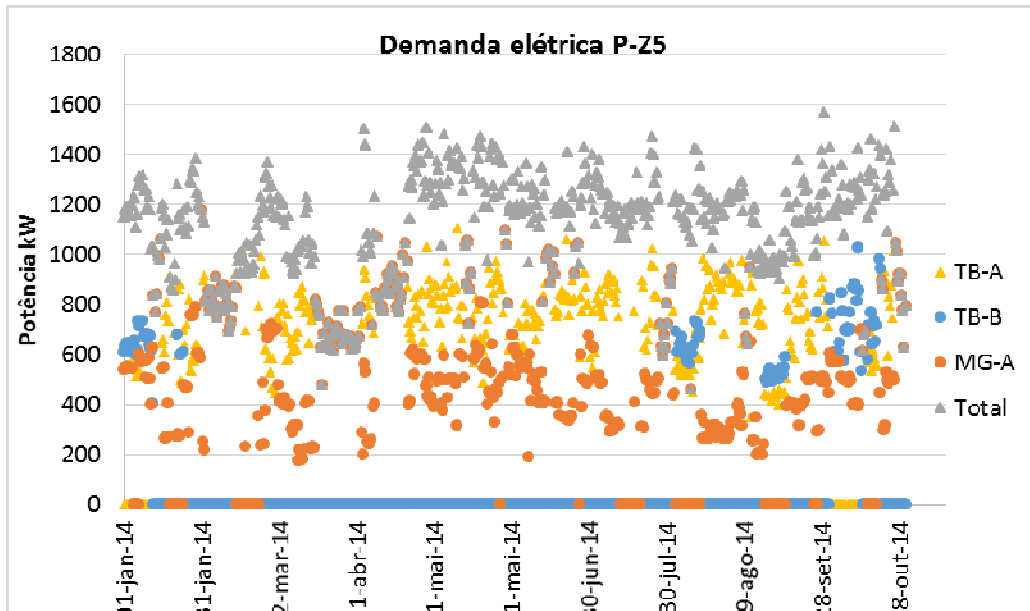
P-Z4

Essa plataforma possui dois turbogeradores a vapor (caldeira a diesel), com potência nominal de 2500 kW, que é original dos navios convertidos. O vapor serve também para acionar bombas de injeção de água em reservatório e bombas de carga (transferência para navio tanque). Devido a problemas de operação e manutenção demorada nesses sistemas, foram alugados 4 MGs, com potência nominal de 1150 kW, e contratual de 960 kW, que geram energia para operação normal. A turbina A já está operando desde o início de 2014, mas às vezes para. Existe possibilidade de otimização, mas a funcionalidade do TB-A deve ser estabilizada.



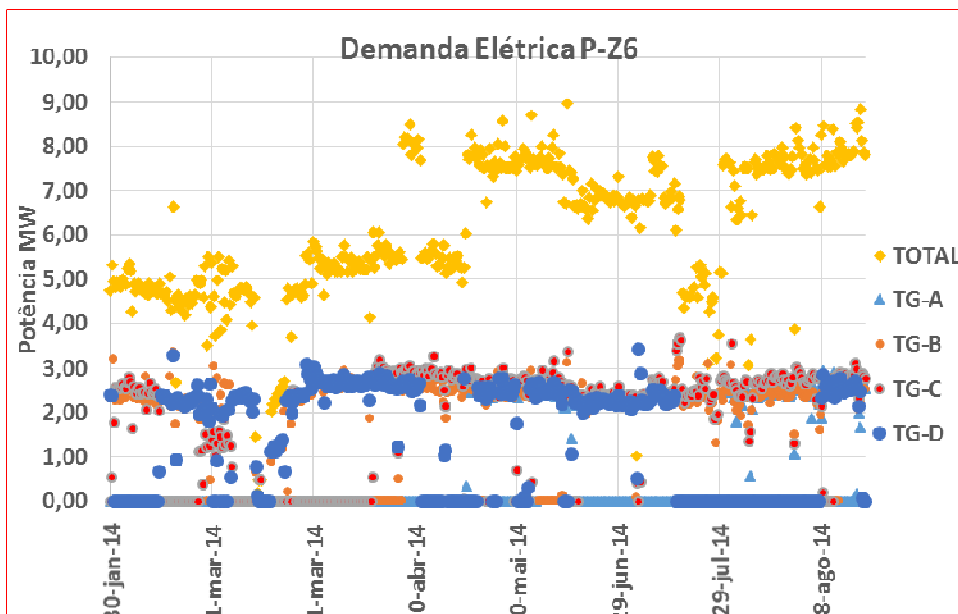
P-Z5

A demanda está em torno de 1 a 1,4 MW. Possuindo 2 TGs a vapor (1,8 MW *nominal*), originais do navio e 1 MG auxiliar de 1,5 MW nominal, opera normalmente 1 máquina, frequentemente opera 2. Pode ser estudada otimização. Ver gráfico a seguir.



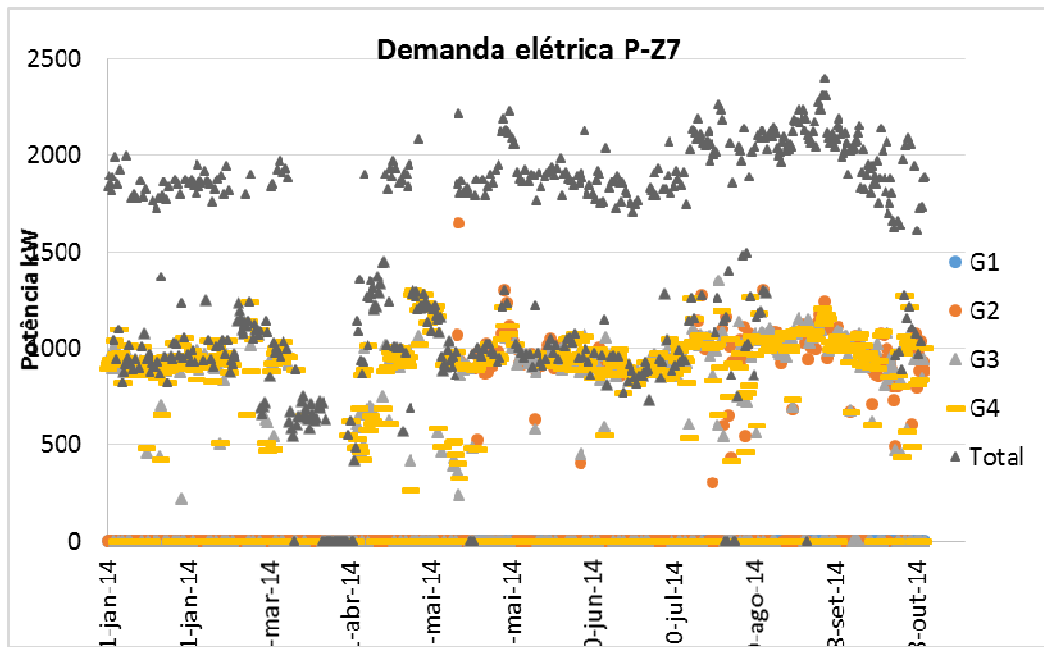
P-Z6

P-Z6 possui demanda elétrica que oscila, principalmente devido a operação oscilante de grandes bombas de injeção, que podem estar em manutenção, e bombas de carga para navio aliviador. Atualmente a demanda está em torno de 8 MW. Possui 4 TGs limitados pelo gerador de 5 MVA (4 MW com $FP=0,8$) e normalmente opera 3 TGs. Ocasionalmente opera 4 TGs para teste. É uma plataforma candidata a estudo de confiabilidade, *desde que os geradores elétricos possam operar próximo de sua potência nominal e não haja picos de demanda excessivos*. Também pode ser estudada a otimização das cargas.



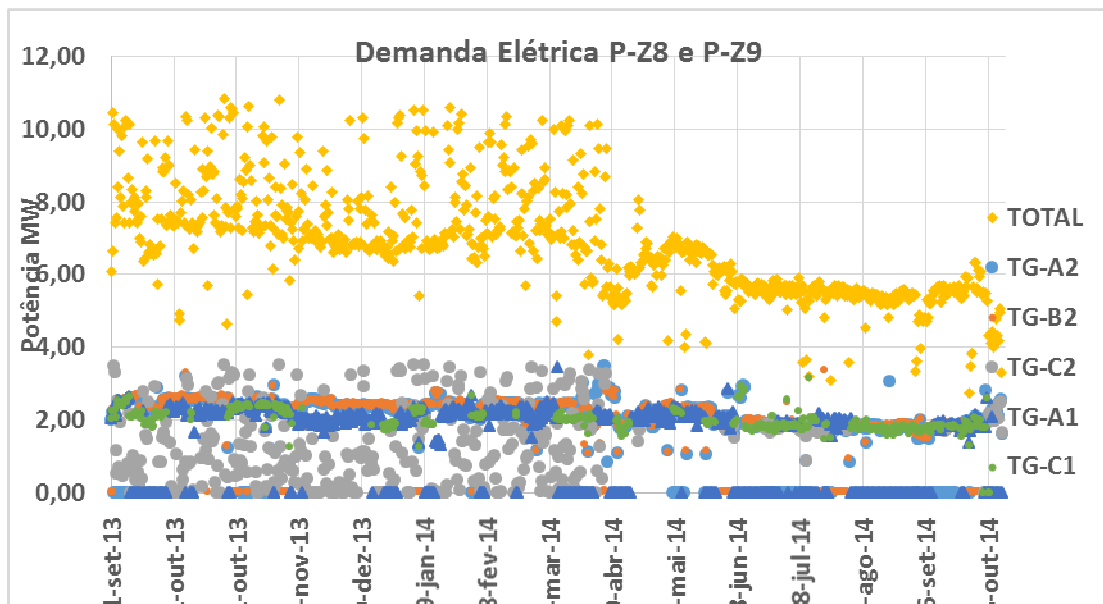
P-Z7

Opera normalmente com 2 MGs e ocasionalmente com 3. Possui demanda em torno de 2 MW e geradores com aproximadamente a mesma potência (2,5 MVA e 2,1 MW) é um caso a ser estudado, desde que não haja picos de demanda superiores ao limite do gerador elétrico.



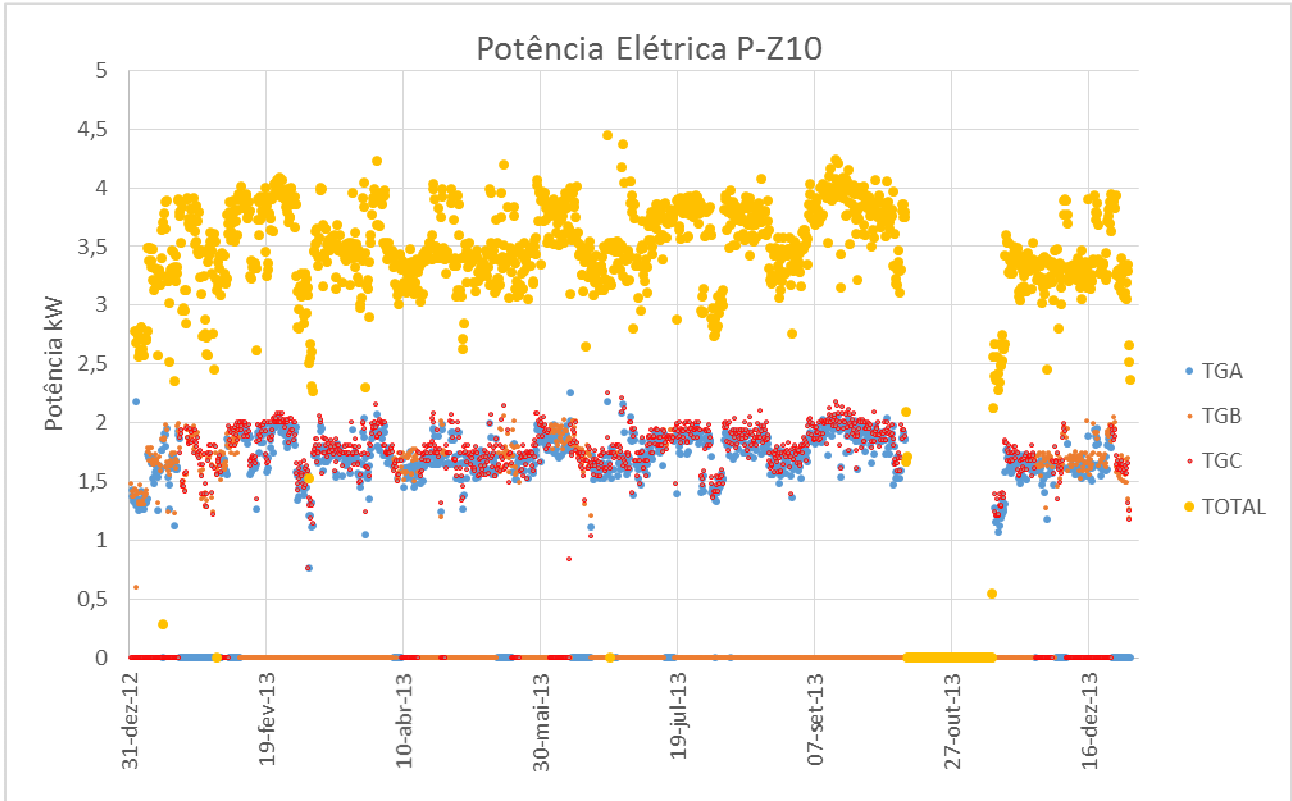
P-Z8 e P-Z9

P-Z8 possui uma demanda de 2 MW e utiliza turbinas com potência nominal ISO 5,6 MW, limitados pelos geradores com potência de 5,6 MVA (4,5 MW), já P-Z9 possui demanda de cerca de 4 MW com dois TGs semelhantes. Considerando Sistemas isolados P-Z8 já estaria otimizada e P-Z9 poderia ser estudada. Essas plataformas possuem a particularidade de serem interligadas por um cabo elétrico, o que poderia aumentar a confiabilidade e permitir o desligamento de um TG em P-Z8, desde que o SDC comum às duas plataformas esteja operando e confiável.



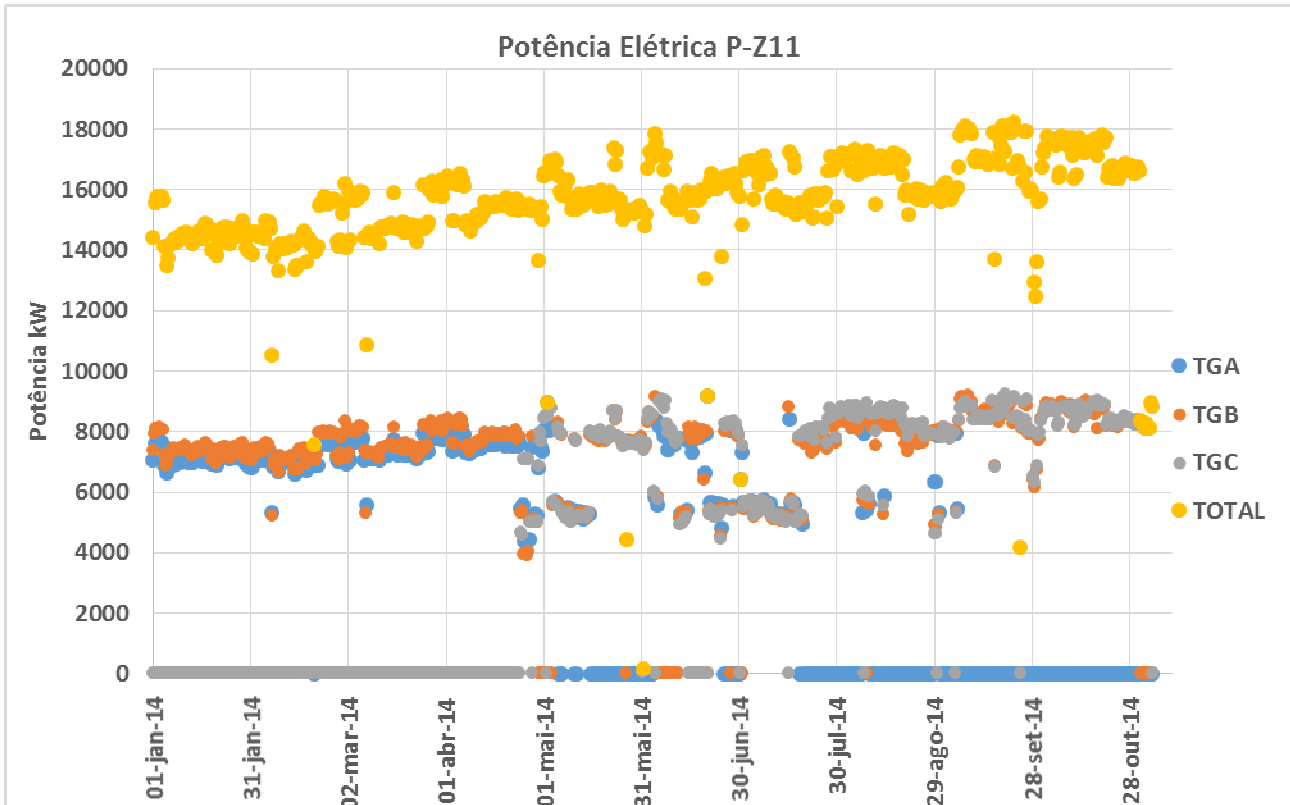
P-Z10

Possui demanda entre 3 e 4 MW e normalmente utiliza 2 TGs com potência ISO do acionador 8,1MW. No passado eram necessários 2 TGs pois os gases de exaustão serviam para aquecer o petróleo, porém também existem fornos. P-Z10 é uma plataforma central, cujo shutdown interrompe a produção dos polos Norte (5 plataformas) e Nordeste (6 plataformas), logo qualquer modificação pode ter grande impacto. Pode ser estudada otimização.



P-Z11

P-Z11 é uma plataforma central que gera energia para outras 5 plataformas. A energia elétrica é utilizada para as bombas centrífugas submersas, único método de elevação de petróleo dessas plataformas. P-Z11 é também a plataforma própria com maior potência gerada, em torno de 17,5 MW. A operação dos últimos anos era de 3 TGs (limitados pelo gerador de 12,5 MVA), sem standby. Em 2013/14, devido a manutenções preventivas de longa duração operou-se a maior parte do tempo com 2 TGs, existindo uma proposta de continuar nessa configuração. É candidata à análise para otimização, que pode subsidiar as ações já existentes.



P-Z13

A demanda de P-Z13 está em torno de 1200-1300 kW (sem registro eletrônico automatizado). A plataforma alterou em junho/julho de 2014 a operação de 2 para apenas 1 MG e já está otimizada.

P-Z14

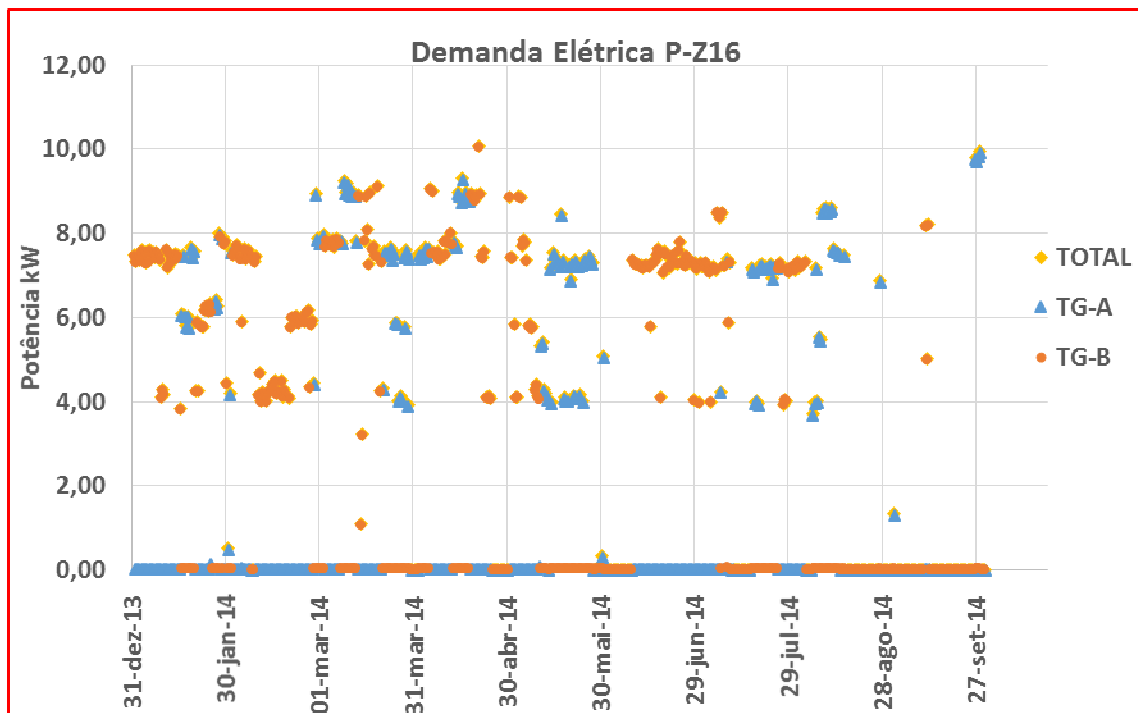
A demanda está em torno de 1000-1200 kW (sem registro eletrônico automatizado). A plataforma já opera com apenas 1 MG há vários anos. Já está otimizada.

P-Z15

A demanda está em torno de 1100 kW (sem registro eletrônico automatizado). A plataforma já opera com apenas 1 MG há vários anos. Já está otimizada.

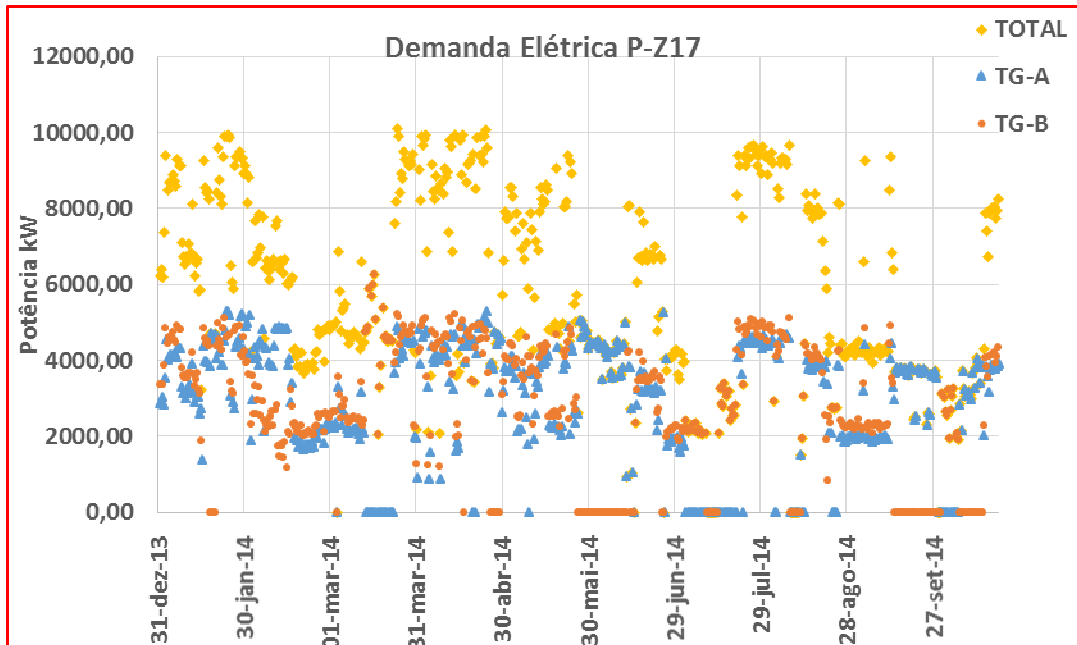
P-Z16

A demanda está em torno de 7500 kW (registro eletrônico no PI). A plataforma já opera com apenas 1 TG que possui capacidade (ISO) 14,4MW. Já está otimizada.



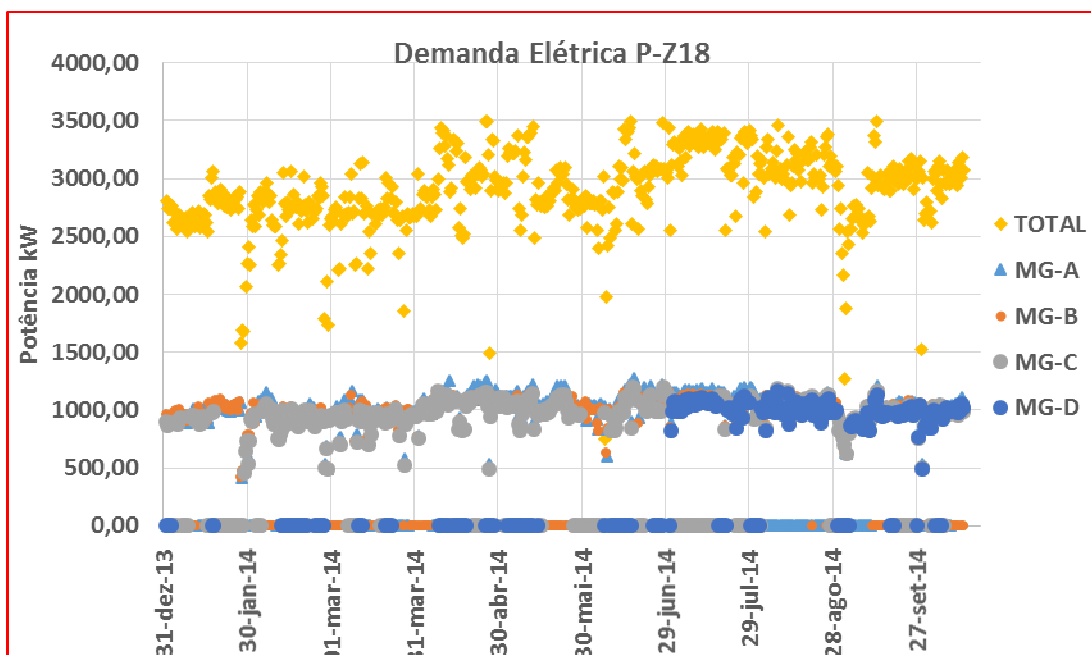
P-Z17

Rodam normalmente 2 TGs, ou 1 TG e 2 MGs. A demanda, em torno de 9 MW, ultrapassa frequentemente a capacidade de 1 TG (7,5 MW). Assim não seria possível otimizar os TGs. Poderia ser melhor estudada a demanda elétrica e verificar possibilidade de otimização das cargas.



P-Z18

A demanda elétrica está pouco acima de 3000 kW, chegando a 3400 kW, e com 3 MGs (1400 kW) operando. A demanda acima de 2800 kW impede que apenas 2 MGs operem, portanto não há como otimizar, a menos que seja feito programa de eficiência energética antes.

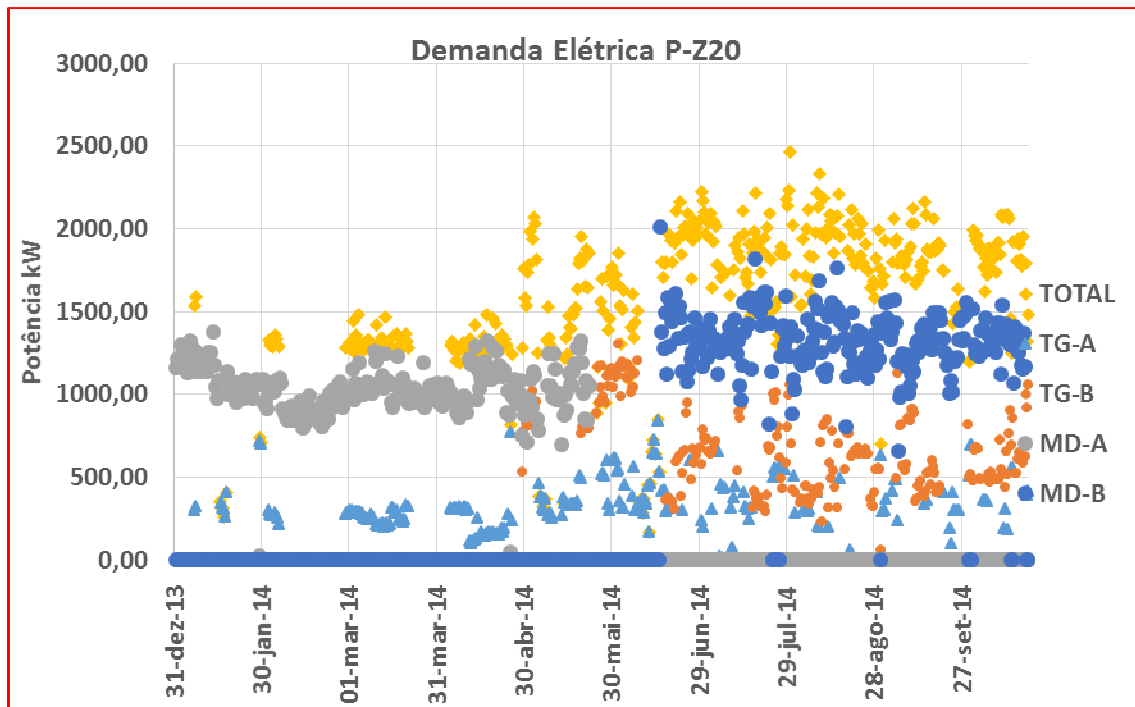


P-Z19

Possui demanda em torno de **9 MW** (a medição digital encontra-se com **problema**). Opera 2 de 3 TGs, limitados pela turbina que possui 7 MW (condição ISO).

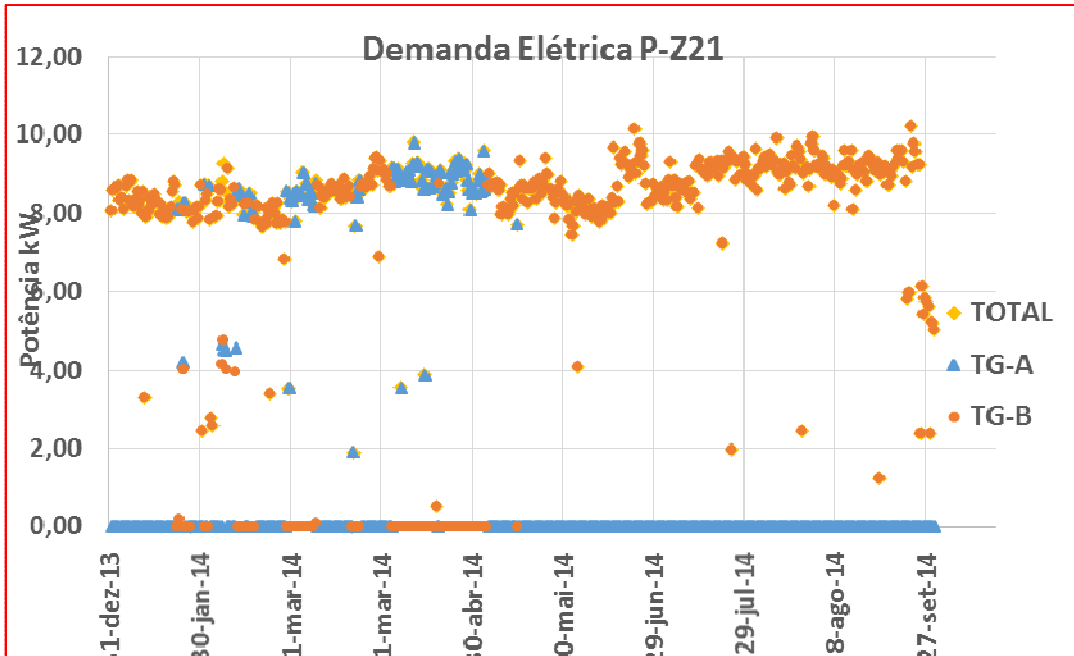
P-Z20

Situação semelhante a P-Z4. A demanda elétrica é maior que 2MW. Há dois turbogeradores a vapor de 1,5MW e 2 MGs auxiliares de 2,3MW. Normalmente opera um MG auxiliar e um TG. Sendo que as manutenções nos TGs são complexas e demoradas. Há também outro MG alugado de 900kW que às vezes opera substituindo o TG, pois a potência do MG de 2,3MW está muito próximo da demanda. A princípio não é um bom cenário para otimização.



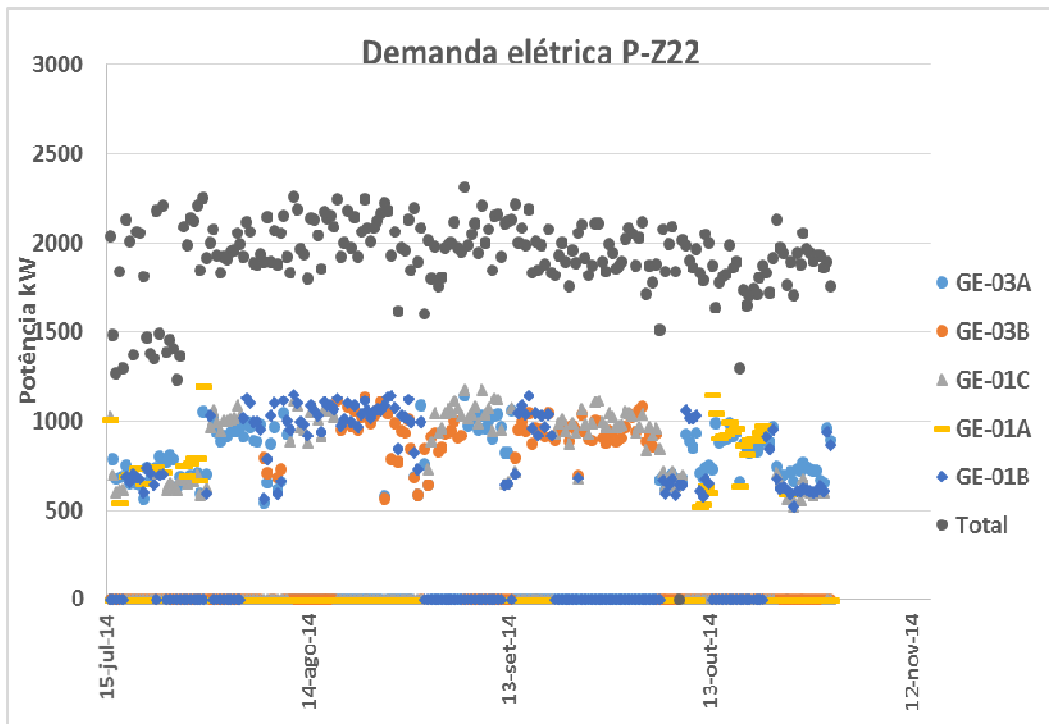
P-Z21

Essa plataforma possui apenas 2 TGs de 20 MW (ISO), operando apenas 1 por vez. Já está otimizada.



P-Z22

Desde agosto de 2014, após reparo em disjuntor de interligação de barramentos, a plataforma vem operando apenas 2 MGs. Possui demanda de cerca de 2MW com 2 MGs de 1,4MW, já estando otimizada.

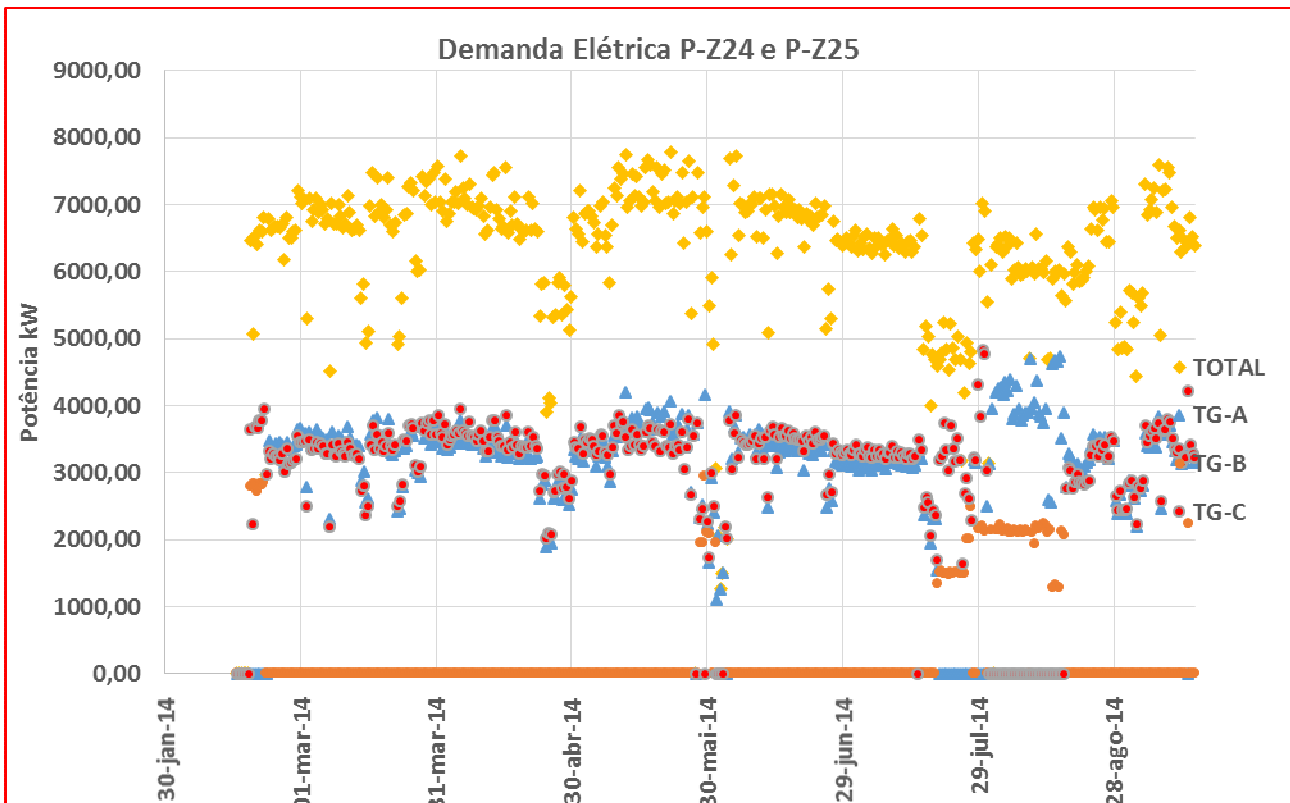


P-Z23

Segundo informação da plataforma, a demanda média em 2013 foi de 2,2 MW, operando normalmente 2 MGs com potência de 1450 kW. Necessário verificar dados, caso positivo já está otimizado. Obs.: há eventos de ligamento de 3 MGs.

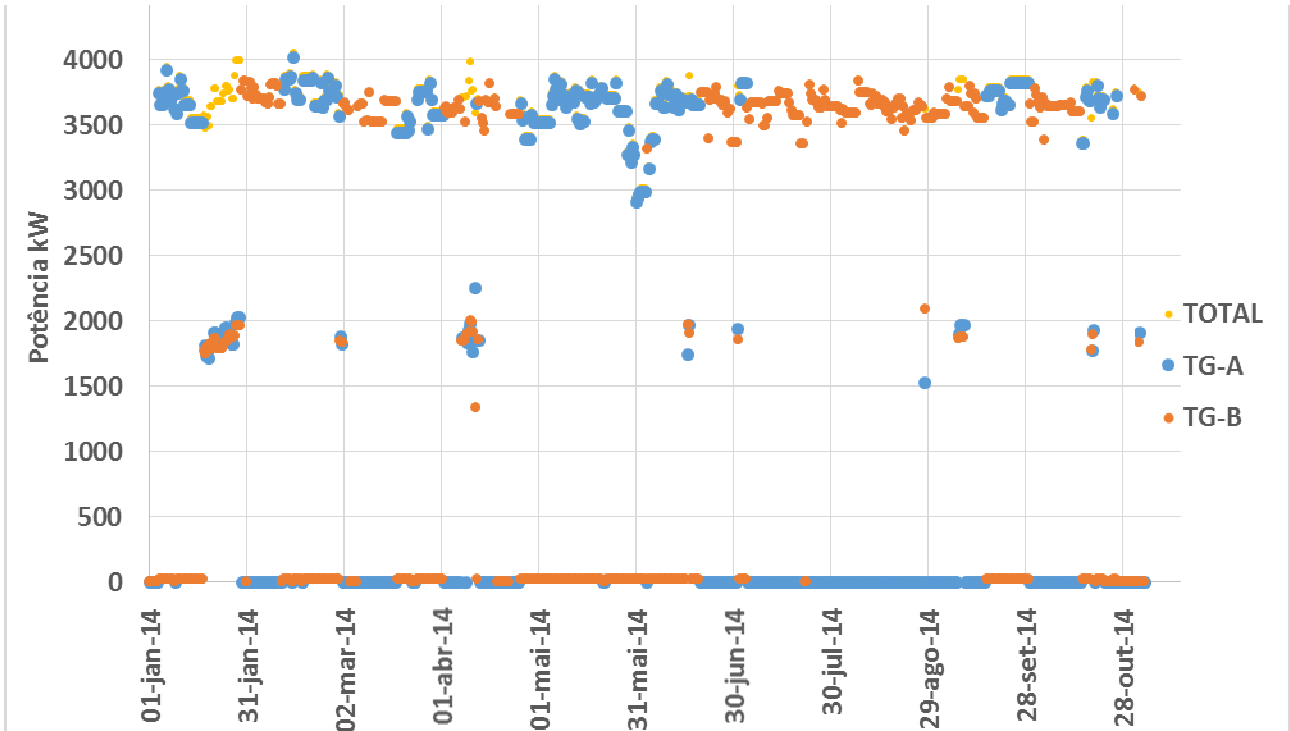
P-Z24 e P-Z25

Historicamente a demanda de P-Z24 e P-Z25 (a primeira gera para a segunda, via cabo submarino) está em torno de 7 MW. A potência dos geradores é de 8,125 MVA (ou 6,5 MW, com FP=0,8) e a turbina 8 MW (ISO), desta maneira a operação atual de 2 TGs não permite otimização.



P-Z26

P-Z26 possui algumas semelhanças com P-Z10, demanda elétrica (em torno de 3,7 MW) e processos parecidos. Por outro lado, não é central (trata óleo somente da P-Z14 que será desmobilizada) e possui apenas 2 TGs, operando, normalmente, sem stand-by. Já está otimizada.



ANEXO 2 – BANCO DE DADOS DE ESDs

ESDs das plataformas analisadas com filtro para ESDs devido à geração elétrica

DATA	PLAT	MOTIVO_PERDA	Perda.bbl
26/06/14	PPM-1	ESD 3P atuação do sistema de UV da Z-172 (Hood do TG-A).	748
08/06/14	PPM-1	Todos os poços: Queda de geração principal (TG-A).	1302
17/02/2014	PPM-1	SHUT DOWN (SD3-T) devido a Queda TG-A por alarme de fogo no hood da turbina (não real).	843
09/10/2013	PPM-1	Fechamento dos poços devido ESD-03, comando de abertura indevido da solenoide de disparo CO ² do hood do TG-B.	956
26/05/2013	PPM-1	Shut down por queda da geração elétrica principal devido a TG-B fora de operação com atuação de temperatura muito alta no hood da turbina.	245
07/02/2013	PPM-1	Shut down devido à queda do TG-B.	214
06/02/2013	PPM-1	Shut down ocasionado por queda de geração.	289
29/01/2012	PPM-1	Shut Down ocasionado por queda do TG-B devido temperatura muito alta no hood por falta de alimentação no CCM-PN-TG-01071-B-01	
14/10/2011	PPM-1	Shut down devido à queda do TG-A e retorno dos TC's-A/B.	
18/08/2011	PPM-1	Shut Down ocasionado por queda de geração.	
30/07/2011	PPM-1	Shut down devido a queda TG- A por diferencial T4 muito alta.	
28/07/2011	PPM-1	Shut down devido à queda TG-B por variação da tensão de saída.	
03/01/2011	PPM-1	Shut down devido à queda do TG-B por atuação do sensor de chama da câmara de combustão.	
06/11/2010	PPM-1	Shut down em função de disparo do cilindro de CO ₂ ocorrido no hood do turbo Gerador "A" durante a instalação da cabeça de comando.	
14/06/2010	PPM-1	Shut down por queda da geração principal,devido atuação do disjuntor de 24 vcc.	
08/06/2010	PPM-1	Shut down em função de queda do TG-A.	
17/05/2010	PPM-1	Shut down devido queda do TG-A.	
03/05/2010	PPM-1	Shut down devido queda TG-B por falha no cartão do rack-1 do PCL às 08:15h em operação às 08:32h.	
10/03/2010	PPM-1	Shut down devido à queda do TG-A	
20/10/2010	PGP-1	Shut down devido à queda de geração ocasionado por curto circuito no TP do dijuntor AT3-A	
22/09/2010	PGP-1	Shut down devido à parada do TG provocada pela perda do CP de controle.	
20/05/2010	PGP-1	Shut down devido queda dos TGs.	

12/01/15	P-07	Poços de P-07 : Parada do processo às 22:05h devido a falha de geração, ocasionada pela abertura do disjuntor do MD-1. Retorno a partir das 23:00h.	629
20/07/14	P-07	ShutDown nivel 3 devido a falha de geração.	503
05/07/14	P-07	Poços fechados devido a ESD por falha na geração.	178
09/07/2013	P-07	Todos os poços: shut down devido a falha de geração.	306
03/07/2013	P-07	Shut down em função de falha da geração.	157
25/05/2012	P-07	Shut down devido a curto circuito no sistema durante substituição do modulo AC EMD-02	126
22/05/2012	P-07	Poços fechados devido à shut down por queda de geração ocasionada no momento da partida do EMD-01.	378
22/05/2012	P-07	Poços fechados devido à shut down por queda de geração, EMD-02, devido a vazamento de gases no duto de descarga.	440
13/05/2012	P-07	Poços BI-01 /PM-53: fechados devido shut down 3, ocasionado por falha de geração. Às 16:25h retorno do processo com abertura do poço PM-53.Poço BI-01 permaneceu fechado aguardando o retorno do TC-B.	164
17/01/2012	P-07	Todos os poços: parada do processo devido queda da geração por subfrequência no EMD-1.	
16/01/2012	P-07	Shut down devido a desligamento dos geradores em função de presença de fumaça no painel principal do gerador 2 na sala do SCR.	
28/02/2014	P-09	SHUT DOWN POR QUEDA DE GERAÇÃO PRINCIPAL	667
02/07/2012	P-09	Shutdown devido a falha de geração elétrica	3485
02/03/2012	P-09	Shut Down devido queda de geração principal.Na partida houve falha no TC-B.	4051
05/10/2011	P-09	Todos os poços: shut down devido queda da geração.	
30/09/2011	P-09	Shut down por queda de Geração de energia elétrica.	
28/07/14	P-12	PARADA DE PROCESSO - SHUT DOWN DEVIDO A QUEDA DA GERAÇÃO PRINCIPAL	44
13/09/2013	P-12	SHUT DOWN POR QUEDA DE GERAÇÃO PRINCIPAL (MG-4), SUBFREQUÊNCIA.	132
08/04/2013	P-12	Shut down por queda geração após atuação sensor de fogo.	164
29/12/2012	P-12	Shut down queda da geração principal	547
18/03/2012	P-12	Todos os poços: shut down devido falha na geração.	239
21/02/2012	P-12	Shut down devido a queda de geração.	
20/09/2011	P-12	Todos os poços: shut down devido a queda da geração principal.	
27/11/2010	P-12	Shut down devido queda geração.	

03/07/2013	P-15	Shut down por queda da geração.	63
04/11/2012	P-15	Shut down por queda da geração.	189
24/03/2011	P-15	Shut down ocasionado por queda da geração de energia.	
07/07/2010	P-15	Shut down devido a queda da geração de energia.	
05/07/2010	P-15	Shut down devido a queda da geração principal.	
29/06/2010	P-15	Shut down devido a queda da geração principal.	

31/08/14	P-35	TODOS POÇOS: ESD2 APÓS QUEDA DE GERAÇÃO ELÉTRICA.	1113
20/08/14	P-35	ESD-2 CAUSADO PELA QUEDA DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.	1006
20/08/14	P-35	ESD-2 CAUSADO PELA QUEDA DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.	629
17/04/14	P-35	TODOS OS POÇOS: ESD3P DEVIDO A ATUAÇÃO INDEVIDA DA SDV-5140100. (GÁS COMBUSTÍVEL DOS TG's)	1572
02/11/2013	P-35	Shut down devido a queda geração principal e por LSHH vaso tocha.	11039
01/11/2013	P-35	SHUTDOWN DEVIDO QUEDA DA GERAÇÃO DE ENERGIA.	1352
02/07/2013	P-35	Shut down devido à queda da geração por pressão baixa no gás combustível.	4315
08/04/2013	P-35	Shut down ocasionado por queda de geração.	64370
04/02/2013	P-35	SHUT DOWN POR QUEDA DA GERAÇÃO DE ENERGIA.	11202
22/10/2012	P-35	Shut down por queda geração principal	1887
20/10/2012	P-35	Shut down devido queda da geração elétrica.	50142
19/10/2012	P-35	Shut down devido queda da geração elétrica.	6384
02/09/2012	P-35	Queda da geração principal por falha no sistema de alimentação de 125 VCC para disjuntores dos painéis de distribuição elétrica.	7567
23/07/2012	P-35	Shut down por atuação de fusível plug (evento não confirmado) e outro shut down por queda de geração principal.	7466
20/07/2012	P-35	Shut down devido queda da geração elétrica.	
04/07/2012	P-35	Shutdown devido a queda de geração	76729
01/12/2011	P-35	Shut down ocasionado por queda de geração.	
22/08/2011	P-35	Shut down por queda da geração elétrica	
11/05/2011	P-35	Todos os poços: Shut Down nível 2, seguido de nível 3, devido a problema no banco de baterias dos Turbo Geradores.	
15/01/2011	P-35	Shut down devido a queda de geração.	
12/01/2011	P-35	Shut down devido à parada dos TGs por pressão baixa de gás combustível.	
17/03/2010	P-35	Shut down devido a queda de geração .	

ESDs da P-37 sem filtro devido à geração elétrica

20/01/15	P-37	Todos os Poços: Perda devido ESD-3T à 00:07h por atuação indevida do sensor de gás confirmado do Hood do TG-B. Poços reabertos à 01:00h.	2591
11/01/15	P-37	Shut down nível 3T por atuação de alarme de fogo (evento não real).	3849
02/10/14	P-37	POÇOS MRL-156/MRL-141/MRL-101/MRL-111/ MRL-154/MRL-213: FECHADOS DEVIDO À Queda do TC-A às 10:00 h devido a furo na linha de água de resfriamento e ESD-2 às 10:05h devido perda do PLC / aguardando tempo de cura do reparo e reposição do sistema de água quente	8843
02/10/14	P-37	POÇOS MRL-156/MRL-141/MRL-101/MRL-111/ MRL-154/MRL-213: ESD-3T devido atuação indevida da ADV-002 E ADV-004.	1233
02/10/14	P-37	POÇOS MRL-156/MRL-141/MRL-101/MRL-111/ MRL-154/MRL-213: FECHADOS DEVIDO À Queda do TC-A às 10:00 h devido a furo na linha de água de resfriamento e ESD-2 às 10:05h devido perda do PLC / aguardando tempo de cura do reparo e reposição do sistema de água quente	6013
02/10/14	P-37	POÇOS MRL-156/MRL-141/MRL-101/MRL-111/ MRL-154/MRL-213: ESD-3T devido atuação indevida da ADV-002 E ADV-004.	1233
03/09/14	P-37	Fechamento dos poços devido ESD-3P ocasionado por vazamento de gás na planta de gás do TC-A.	566
19/08/14	P-37	ESD3P devido a atuação de baixa isolamento no turret.	6730
25/07/14	P-37	Todos os poços - Deficiência de injeção de gás-lift devido a quedas do TC-A durante ESD-3P por atuação indevida do sensor de gás confirmado no Hood do mesmo às 22:06h e queda da geração principal às 03:28h.	4510
07/07/14	P-37	Todos os poços: queda do TC-A (queda da geração principal).	3856
03/06/14	P-37	TODOS OS POÇOS: ESD-3T às 14:30 h devido a atuação indevida de fogo confirmado no skid "I".	1881
25/04/14	P-37	TODOS OS POÇOS: Perda devido a ESD-2 por atuação do PSH-1251002 da Desaeradora.	1384
18/04/14	P-37	Shut down às 10:53H do dia 18/04/14 devido a atuação indevida do sensor de gás confirmado no hood do TG-B.	2591
03/02/2014	P-37	TODOS OS POÇOS : ESD-3P devido atuação do PSH-1251002 do sistema de água de injeção.	1365
02/02/2014	P-37	TODOS OS POÇOS : ESD-2 devido atuação indevida do PSL-1223033 por arraste de condensado	547
02/02/2014	P-37	TODOS OS POÇOS : ESD-3P devido queda da geração principal por conseguinte queda do TC causando falta de injeção de gás lift	943
31/01/2014	P-37	Shut down por atuação indevida dos sensores de gás devido a alta isolamento no turret, e queda da geração principal por falha na alimentação 120 Vca.	6567
17/12/2013	P-37	Shut down por atuação do pressostato de pressão baixa na sucção do Booster.	2673
13/11/2013	P-37	SHUT DOWN por atuação indevida dos sensores de gás da plataforma.	522
29/10/2013	P-37	ESD-3P às 17:40 h (29/10/2013) devido a atuação indevida dos sensores de gás do turret.	277
28/10/2013	P-37	Shut down devido a atuação indevida do sensor de gás confirmado do hood do TC-A.	484
14/09/2013	P-37	Shutdown devido atuação de Pressão baixa na sucção do MC-Booster ocasionado por furo na linha de reprocessamento dos condensados do processo.	698
19/08/2013	P-37	Shut down devido atuação do PSH na desaeradora	1572
17/08/2013	P-37	Shut down às 14:11 por atuação indevida de fogo não confirmado no hood do TC-A.	1069
17/08/2013	P-37	Shut down às 13:00h por atuação indevida dos sensores de gás no turret.	1069
17/08/2013	P-37	Shut down devido a atuação do pressostato de alta (PSH-1251002) da desaeradora.	881
15/08/2013	P-37	Shut down devido a rompimento de conexão em mangueira do umbilical químico do MSP-05 no interior do riser.	12542
22/07/2013	P-37	Shut Down por atuação sensor de fogo no Whru do TC-A.	3453
02/06/2013	P-37	Shut down ocasionado por atuação dos detectores de gás do MC-Booster.	943
24/05/2013	P-37	Shut down devido à queda da geração.	3183
23/05/2013	P-37	Shut Down devido atuação sensor de gás no SKID-C compressor booster.	2981

21/05/2013	P-37	Shut down devido alarme de fogo confirmado no Hood do TC-A após queda da geração principal por posição incorreta das VSVs do TG-B.	2435
15/05/2013	P-37	Todos os poços: perda derivada de ESD-3T por atuação de gás confirmado do hood TG-B	1428
02/05/2013	P-37	Shut down devido a atuação indevida da ADV-5420006.	629
02/05/2013	P-37	Shut down por atuação indevida de fogo confirmado no hood do TC-A.	415
10/03/2013	P-37	Shut down por atuação sensor de fogo, não confirmado, no skid "I" (Área externa aos TGs)	1151
27/02/2013	P-37	Shut down devido falha na geração principal ocasionando perda da ventilação do hood do TC-A.	1321
27/02/2013	P-37	Shut down por comutação indevida do PLC "A" para o PLC "B" devido falha no cartão GBC.	2868
21/02/2013	P-37	Shut down por nível muito alto no vaso do flare de alta devido a instabilidade no nível do sistema de água quente.	2239
19/02/2013	P-37	Shut down por atuação indevida na botoeira de ESD localizada próximo á baleeira BB.	1063
23/01/2013	P-37	Shut down ocasionado por atuação sensor de gás do Turret (Não confirmado)	1510
26/11/2012	P-37	Todos os Poços: Perda devido ESD-3P ocasionado por atuação indevida de fogo confirmado no Hood do TC-A.	4403
17/11/2012	P-37	Shutdown devido acionamento inadvertido da botoeira.	6793
08/11/2012	P-37	SHUT DOWN por atuação do sensor de fogo no hood do TC-A durante queda do TG-A e Parada manual do TC-A ás 05:40h devido a problemas na planta de água quente	5202
06/11/2012	P-37	Shut down por atuação da valvula de diluvio.	1057
24/10/2012	P-37	Shut down devido a queda do TG-A.	1761
23/10/2012	P-37	Shut down devido a queda do TG-B.	3780
20/10/2012	P-37	Shut down por LAHH-5412005 do vaso do flare de baixa.	1239
03/10/2012	P-37	Shut down devido a atuação indevida do PSL da ADV-03 da planta de processo.	2239
26/09/2012	P-37	Shut down por nível muito alto do tratador de gás (K.O.Drum) em decorrência da falha na LV do Separador 122301B.	1258
02/09/2012	P-37	Shutdown devido a atuação indevida da ADV-03 na planta de processo.	3095
28/08/2012	P-37	Shut down devido queda da geração principal, ocasionando queda do TC-A.	4441
27/08/2012	P-37	Shut down nível 3 Parcial devido atuação indevida da ADV-03 na planta de processo.	1698
27/08/2012	P-37	Shut down nível 3 Parcial devido atuação indevida da ADV-03 na planta de processo.	3560
15/07/2012	P-37	Todos os poços: shut down durante a troca dos cartões eletronicos no PLC.	4145
12/06/2012	P-37	Shut down nível 3 Total devido queda de geração principal .	1755
24/02/2012	P-37	Shut down devido falha no PLC.	

22/11/2011	P-37	Shut down devido atuação do sensor de fogo do TC-A (evento não real).	
10/11/2011	P-37	Shut down devido atuação da ADV.	
09/11/2011	P-37	Shut down devido à nível muito alto vaso de gás separado.	
31/10/2011	P-37	Shut down ocasionado pela atuação do pressostato (PSL) do sistema de dilúvio.	
23/08/2011	P-37	Shut down, devido atuação do pressostato de baixa da sucção do compressor Booster, por instabilidade do processo devido à queda do TG-B.	
23/08/2011	P-37	Shut down, devido a atuação do pressostato de alta pressão da Desaeradora durante retorno da injeção de água	
31/07/2011	P-37	Shut down por atuação do pressostato de alta pressão da Torre Desaeradora	
17/06/2011	P-37	Shut down por pressão muito baixa na sucção booster	
17/06/2011	P-37	Shut down por atuação de pressão alta na desaeradora.	
06/06/2011	P-37	Shut down devido a atuação da ADV do convés principal.	
31/05/2011	P-37	Shut down por atuação na ADV da area dos TCs.	
29/04/2011	P-37	Shut down devido a atuação de ADV na planta de processo.	
23/03/2011	P-37	Shut down devido atuação da ADV da Área da planta de glicol.	
07/03/2011	P-37	shut down por atuação do PSL-542003 da linha do dilúvio.	
22/02/2011	P-37	Shut down por atuação de pressostato de alta pressão PSH-125100 da malha de baixa pressão.	
13/02/2011	P-37	Shut down devido à pressão muito baixa no vaso de sucção do compressor booster.	
25/01/2011	P-37	Perda devido shut Down nível 3P, ocorrido por atuação do PSL-5420023 da ADV-5420006 por falha no pistão de acionamento.	
24/11/2010	P-37	Shut down devido atuação do PSL da rede de fusível plug do SKID-I geração principal.	
22/11/2010	P-37	Deficiência de injeção de gás lift devido queda TG-B por ESD-3P em função da atuação do sensor de fogo (não confirmado).	
05/11/2010	P-37	Shut down ocasionado pela atuação do sensor de gás na área dos TGs	
02/11/2010	P-37	Shut down devido à vazamento de gás na casa de bombas.	
08/06/2010	P-37	ESD-2 por atuação de pressão alta na Desaeradora.	
02/03/2010	P-37	Shut down devido a atuação do pressostato de baixa da desaeradora.	

APÊNDICE 1 – ANÁLISE BIBLIOGRÁFICA

Foi realizada pesquisa bibliométrica, através do portal de periódicos da CAPES: <http://www.periodicos.capes.gov.br>. As seguintes palavras chaves (PCs) e algumas combinações foram pesquisadas: **Energy Efficiency, Rebound Effect, Reliability, Oil platform, Eficiência Energética, Efeito Rebote, Confiabilidade, Plataforma de Petróleo**. Os resultados são apresentados a seguir. Iniciou-se as buscas pelas PCs mais abrangentes e seguiu-se, então, para as mais específicas. Pesquisas realizadas nos dias 11 e 12 de junho de 2015.

Vale ressaltar que, devido à dificuldade na busca de trabalhos, demonstrada a seguir, também foram utilizados outros mecanismos de busca, como o <http://scholar.google.com/> e também a ferramenta interna da PETROBRAS.

Palavra Chave: Energy Efficiency

Resultado busca: 350.484 trabalhos

Para essa PC, as coleções com mais trabalhos publicados são Elsevier e Gale (tabela 1). Em relação aos tópicos disponíveis, os que tiveram maior relevância para a dissertação foram: *Energy Consumption, Energy Conservation e Energy Policy* e o próprio tópico *Energy Efficiency* (tabela 2). É importante ressaltar que, para muitos tópicos, há quantidade expressiva de trabalhos das áreas médica e farmacêutica, não relacionados com a dissertação.

Coleção
SciVerse ScienceDirect (Elsevier) (144.717)
OneFile (GALE) (136.982)
MEDLINE/PubMed (NLM) (38.767)
SpringerLink (23.718)
SciTech Connect (OSTI) (21.683)
AIP Journals (AIP) (11.935)
Wiley Online Library (7.840)
IEEE Journals & Magazines (7.748)
RSC Journals (Royal Society of Chemistry) (5.281)
JSTOR Archival Journals (4.142)
Directory of Open Access Journals (DOAJ) (3.474)
American Chemical Society (CrossRef) (3.408)
Sage Publications (CrossRef) (1.557)
SAGE Journals (1.552)
SpringerLink Open Access (1.493)
Nature Publishing Group (CrossRef) (814)
ACM Digital Library (412)
American Association for the Advancement of Science (CrossRef) (366)
ERIC (U.S. Dept. of Education) (278)
Association for Computing Machinery (CrossRef) (263)

Tabela 1 – Coleções, Palavra Chave – Energy Efficiency

Tópico
Article (26.829)
Energy (25.092)
Energy Efficiency (20.031)
Efficiency (18.020)
Issues in Sustainable Development (16.583)
Economics (13.184)
Energy Consumption (10.658)
Studies (9.705)
General (9.452)
Air Pollution (9.303)
Energy Conservation (9.200)
Energy Management (9.087)
Carbon Dioxide (7.768)
ENERGY POLICY (7.131)
Technology (6.659)
Renewable Energy (6.650)
Electricity (4.472)
Buildings (4.221)
Experiment/Theoretical Treatment (4.015)
China (2.139)

Tabela 2 – Tópicos, PC – Energy Efficiency

Palavra Chave: Rebound Effect

Resultado busca: 11.840 trabalhos

Para essa PC o número de trabalhos é bem mais restrito. As coleções com mais trabalhos são Elsevier, NLM e Gale (tabela 3). Em relação aos tópicos, os que tiveram maior relevância para a dissertação foram: *Economics, Issues in Sustainable Development, Energy Efficiency, Energy Consumption, Energy Policy e Energy Conservation* (tabela 5). Dentro dos tópicos existem muitos trabalhos das áreas médica e farmacêutica, não relacionados com a dissertação. A maioria dos trabalhos está no idioma inglês (tabela 4). Os autores com mais trabalhos estão listados na tabela 6, tendo sido utilizados trabalhos de Sorrel, na dissertação.

SciVerse ScienceDirect (Elsevier) (5.667)
MEDLINE/PubMed (NLM) (5.591)
OneFile (GALE) (4.147)
SpringerLink (1.016)
Wiley Online Library (366)
PMC (PubMed Central) (335)
JSTOR Archival Journals (182)
Directory of Open Access Journals (DOAJ) (159)
Sage Publications (CrossRef) (157)
SAGE Journals (149)
Oxford Journals (Oxford University Press) (116)
Wolters Kluwer - Ovid - Lippincott Williams & Wilkins (CrossRef) (86)
PsycARTICLES (American Psychological Association) (81)
Nature Publishing Group (CrossRef) (70)
BMJ Journals (70)
SciTech Connect (OSTI) (55)
J-STAGE (Japan Science and Technology Agency) (50)
Mary Ann Liebert (CrossRef) (29)

Tabela 3 – Coleções, PC – Rebound Effect

Inglês (11.445)
Alemão (80)
Francês (53)
Japonês (44)
Indeterminado (39)
Espanhol (22)
Português (12)
unk (5)
Chinês (3)
Lituano (1)
Catalão (1)
Persa (1)

Tabela 4 – Idiomas, PC – Rebound Effect

Humans (1.001)
Index Medicus (941)
Male (729)
Article (635)
Economics (609)
Animals (608)
Female (572)
Studies (545)
Issues in Sustainable Development (492)
Rats (482)
Energy Efficiency (369)
Energy (340)
Energy Consumption (332)
Sleep (310)
Middle Aged (301)
Energy policy (279)
Energy Conservation (194)
Rebound Effect (180)
Households (132)
Rebound (109)

Tabela 5 – Tópicos, PC – Rebound Effect

Wu, Patrick (21)
Lin, Boqiang (20)
Teixeira, Marcus Zulian (16)
Schipper, Lee (12)
Sorrell, Steve (12)
Haas, Reinhard (11)
Galvin, Ray (11)
Shaik, Sason (10)

Tabela 6 – Autores, PC – Rebound Effect

Palavras Chaves: Energy Efficiency e Rebound Effect

Resultado busca: 624 trabalhos

Essa busca serve para refinar as duas anteriores. Para essa combinação existem apenas 624 trabalhos. Em relação aos tópicos (tabela 7), a maior parte se relaciona com a dissertação, mas ainda existem muitos trabalhos das áreas médica e farmacêutica. Os autores com mais trabalhos estão listados na tabela 8. Boqiang possui trabalhos sobre *Rebound Effect* na China. A maioria dos trabalhos está no idioma inglês (tabela 9). Os periódicos com mais trabalhos estão listados na tabela 10, tendo sido utilizados artigos da revista Energy Policy (Elsevier), relacionados com a dissertação.

Energy Efficiency (242)
Economics (224)
Issues in Sustainable Development (186)
Energy Consumption (176)
Studies (153)
ENERGY POLICY (141)
Energy (131)
Energy Conservation (100)
Energy Management (98)
Experiment/Theoretical Treatment (96)
Rebound Effect (94)
Article (80)
Emissions (79)
Households (67)
Technology (63)
Energy economics (54)
Carbon Dioxide (54)
Climate Change (49)
Sustainable Development (47)
Economic Growth (36)

Tabela 7 – Tópicos, PCs - Rebound Effect e Energy Efficiency

Lin, Boqiang (14)
Sorrell, Steve (8)
Fronzel, Manuel (8)
Turner, Karen (7)
Haas, Reinhard (6)
Galvin, Ray (6)

Tabela 8 – Autores, PCs - Rebound Effect e Energy Efficiency

Inglês (616)
Alemão (2)
Português (2)
Catalão (1)

Tabela 9 – Idiomas, PCs - Rebound Effect e Energy Efficiency

Applied Energy (10)
Climatic Change (3)
Ecological economics (42)
Ecological Modelling (3)
Energy (32)
Energy and Buildings (12)
Energy economics (36)
Energy Efficiency (16)
Energy Journal (24)
ENERGY POLICY (147)
Fuel And Energy Abstracts (52)
Journal Of Cleaner Production (17)
Nature (6)
Renewable and Sustainable Energy Reviews (12)
Vanderbilt Law Review (4)

Tabela 10 – Periódicos, PCs - Rebound Effect e Energy Efficiency

Palavras Chaves: Energy Efficiency e Reliability

Resultado busca: 4995 trabalhos

A *PC Reliability* é pouco específica para a dissertação, retornando resultado de 267.026 trabalhos. Por outro lado, a busca pela combinação *Energy Efficiency e Reliability*, mais específica, retornou 4995 trabalhos relativos aos tópicos listados na tabela 11. As coleções com mais artigos são listadas na tabela 12 e os autores com mais trabalhos, na tabela 13. Na tabela 14 estão os periódicos com mais trabalhos publicados, com destaque para *Energy Policy*, com mais artigos, e *IEEE Transaction*, que é bem conceituado. Esses dois periódicos foram utilizados para a dissertação.

Energy Efficiency (605)
Energy (545)
Article (513)
Reliability (420)
Issues in Sustainable Development (398)
Efficiency (354)
Energy Management (316)
(An) (295)
Economics (280)
Renewable Energy (278)
Algorithms (276)
Mathematical Models (262)
Energy Consumption (249)
Simulation (247)
Electric Power Generation (229)
Networks (225)
Sensors (221)
Optimization (205)
Energy Conservation (177)
Wireless Sensor Networks (138)

Tabela 11 – Tópicos, PCs - *Energy Efficiency e Reliability*

OneFile (GALE) (2.150)
SciVerse ScienceDirect (Elsevier) (1.848)
IEEE Journals & Magazines (376)
SciTech Connect (OSTI) (358)
SpringerLink (342)
MEDLINE/PubMed (NLM) (189)
AIP Journals (AIP) (114)
Wiley Online Library (91)
Directory of Open Access Journals (DOAJ) (77)
arXiv (72)

Tabela 12 – Coleções, PCs - *Energy Efficiency e Reliability*

Singh, C. (8)
Palazzo, Sergio (6)
Zhang, Yan (6)
Sun, Yongjun (5)
Niknam, Taher (5)
Jin, Yong (5)
Vine, Edward (4)
Conti, Marco (4)
Wang, Ruixiang (4)
Bai, Guangwei (4)
Anastasi, Giuseppe (4)

Tabela 13 – Autores, PCs - *Energy Efficiency e Reliability*

Título do periódico
Ad Hoc Networks (43)
Applied Energy (77)
Applied Physics Letters (36)
Applied Thermal Engineering (46)
Energy (112)
Energy and Buildings (43)
Energy Conversion And Management (101)
Energy Efficiency (11)
Energy Policy (120)
IEEE Transactions on Industrial Electronics (20)
IEEE Transactions on Industry Applications (17)
IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems (11)
IEEE Transactions on Power Systems (30)
IEEE Transactions on Wireless Communications (10)
International Journal of Hydrogen Energy (78)
Microelectronics Reliability (35)
Renewable and Sustainable Energy Reviews (159)
Renewable Energy (102)
Solar Energy (39)
Wireless Networks (13)

Tabela 14 – Periódicos, PCs - *Energy Efficiency e Reliability*

Palavra Chave: *Energy Efficiency e Oil Platform*

Resultado busca: 56 trabalhos

Para busca de trabalhos ainda mais específicos utilizou-se o refinamento com as PCs *Energy Efficiency e Oil Platform*. Foram retornados apenas 56 artigos, evidenciando a dificuldade para encontrar trabalhos relativos ao assunto da dissertação, através do portal de periódicos da CAPES. Se consideramos que o assunto da dissertação é ainda mais específico (otimização do sistema de geração elétrica de plataformas de petróleo), pode-se ver que existem poucos trabalhos disponíveis. Os resultados estão nas tabelas a seguir. Coleções (tabela 15), tópicos (tabela 16) e autores (tabela 17).

OneFile (GALE) (19)
SciVerse ScienceDirect (Elsevier) (16)
MEDLINE/PubMed (NLM) (7)
BRAGE (BIBSYS) (6)
SpringerLink (4)
Wiley Online Library (3)
IOPscience (Institute of Physics) (2)
IEEE Journals & Magazines (2)

Tabela 15 – Coleções, PCs - *Energy Efficiency e Oil Platform*

Energy (14)
Oil (10)
Economics (9)
Energy Efficiency (7)
Natural Gas (7)
(An) (7)
Issues in Sustainable Development (7)
Exergy (6)
Oil and Gas Industry (6)
Thermodynamics (5)
Platforms (5)
Efficiency (5)
Carbon Dioxide (5)
Oil and Gas (4)
Offshore Platforms (4)
Oil and Gas Platform (3)
Petroleum (3)
Exergy Analysis (3)
Thermochemical Biorefinery (2)
Fatty Acid Methyl Esters (1)

Tabela 16 – Tópicos, PCs - *Energy Efficiency e Oil Platform*

Elmegaard, Brian (9)
Voldsund, Mari (9)
Kjelstrup, Signe (6)
Nguyen, Tuong-Van (6)
Breuhaus, Peter (3)
Haro, Pedro (2)
Xu, Shichang (2)
Gao, Jianpeng (2)

Tabela 17 – Autores, PCs - *Energy Efficiency e Oil Platform*

Palavra Chave: Eficiência Energética

Resultado busca: 1679 trabalhos

Para busca de trabalhos através de PCs em português, iniciou-se do mais geral: Eficiência Energética. O resultado são bem menos trabalhos (em comparação com *Energy Efficiency*), pois no idioma inglês há trabalhos de autores de vários países, inclusive de países de língua portuguesa. Enquanto, para *Energy Efficiency* foram encontrados 350.484 trabalhos, para Eficiência Energética foram 1679. As coleções estão listadas na tabela 18 e os tópicos, na tabela 19. Pode ser visto na tabela 20 que existiam mais trabalhos no idioma espanhol, sendo as palavras coincidentes com o português.

OneFile (GALE) (776)
Directory of Open Access Journals (DOAJ) (311)
SciELO Brazil (Scientific Electronic Library Online) (184)
Dialnet (145)
Repositório Científico de Acesso Aberto de Portugal (135)
SciELO (CrossRef) (92)
SciVerse ScienceDirect (Elsevier) (79)
SciELO Chile (Scientific Electronic Library Online) (51)
Diposit Digital de Documents de la UAB (Universitat Autònoma de Barcelona) (22)
MEDLINE/PubMed (NLM) (20)
JSTOR Archival Journals (8)
SpringerLink (7)
PUCRS Institutional Repository (Pontifical Catholic University of Rio Grande do Sul) (7)
BioOne (4)
SAGE Journals (3)
Wiley Online Library (3)
Project MUSE (3)
Sage Publications (CrossRef) (3)
Repositorio Digital de Tesis PUCP (Pontificia Universidad Católica del Perú) (2)
PMC (PubMed Central) (1)

Tabela 18 – Coleções, PC – Eficiência Energética

eficiência energética (183)
Energy Efficiency (140)
Energy (57)
Eficiencia Energética (51)
Energia (34)
Energy Consumption (27)
Sustainable Development (26)
Issues in Sustainable Development (24)
Energy Conservation (21)
Efficiency (18)
Energy Management (18)
Renewable Energy (17)
Sustainability (16)
Energy Policy (14)
Brazil (13)
Economics (13)
Spain (12)
Petroleos Mexicanos (10)

Tabela 19 – Coleções, PC – Eficiência Energética

Espanhol (930)
Português (534)
Inglês (365)
Catalão (17)
Francês (6)
Chinês (1)
Galego (1)

Tabela 20 – Coleções, PC – Eficiência Energética

Palavra Chave: Efeito Rebote

Resultado busca: 30 trabalhos

Na tentativa de encontrar trabalhos mais específicos, realizou-se a busca com a PC Efeito Rebote, porém não foram encontrados trabalhos relacionados com a dissertação (tabela 21). Os trabalhos encontrados foram principalmente das áreas médica e farmacêutica. Concluiu-se que não existiam trabalhos sobre esse tema específico, na língua portuguesa, catalogados pela CAPES, necessitando-se utilizar os trabalhos na língua inglesa.

Farmacologia (1)
Morphine (1)
Learning (1)
Pharmacology (1)
Physiological Effects of Drugs (1)
Bioethics (1)
Rebound Effect (1)
Postoperative Pain (1)
Neurosurgery (1)
High Risk Pregnancy (1)
Underachievement (1)
Homeopathy (1)
Adverse Effects (1)
Mannitol (1)
Efeitos Fisiológicos de Drogas (1)
Law of Similars (1)
Saline Solution, Hypertonic (1)
Water-Electrolyte Imbalance (1)
Epidural Analgesia (1)
Efeitos Adversos (1)

Tabela 21 – Tópicos, PC – Efeito Rebote

Palavra Chave: Eficiência Energética e Efeito

Resultado busca: 0

Somente para registro, tentou-se a busca com as PCs Eficiência Energética e Efeito Rebote, não sendo retornado nenhum trabalho.

Palavras Chaves: Eficiência Energética e Confiabilidade

Resultado busca: 35 trabalhos

Da mesma maneira que para as pesquisas anteriores, com PCs em português, foram encontrados poucos trabalhos (apenas 12 em português) e nenhum relacionado com os temas da dissertação.

OneFile (GALE) (18)
 Directory of Open Access Journals (DOAJ) (5)
 SciELO (CrossRef) (5)
 SciELO Brazil (Scientific Electronic Library Online) (5)

Tabela 22 – Coleções, PC – Eficiência Energética e Confiabilidade

Português (12)
 Inglês (12)
 Espanhol (12)

Tabela 23 – Idiomas, PC – Eficiência Energética e Confiabilidade

Palavras Chaves: Eficiência Energética e Plataforma de Petróleo

Resultado busca: 37 trabalhos

Da mesma forma, para essas PCs foram encontrados poucos trabalhos das coleções da tabela 24, relativos aos tópicos da tabela 26, sendo a maioria no idioma espanhol (tabela 25) e apenas 5 em português.

OneFile (GALE) (35)
 Directory of Open Access Journals (DOAJ) (5)
 Dialnet (2)
 SciELO (CrossRef) (2)
 SciELO Brazil (Scientific Electronic Library Online) (1)

Tabela 24 – Coleções, PC – Eficiência Energética e Plataforma de Petróleo

Espanhol (34)
 Português (5)
 Inglês (5)
 Chinês (1)
 Francês (1)

Tabela 25 – Idiomas, PC – Eficiência Energética e Plataforma de Petróleo

Petroleos Mexicanos (5)
 Sugarcane (2)
 Jobs (1)
 Commercial Specialization (1)
 Kohlendioxid (1)
 Intercâmbio Comercial (1)
 planos plurianuais (1)
 Alternative Energies (1)
 Documentary Films (1)
 Vergleich (1)
 Latin America (1)
 Emploi (1)
 Europäische Union (1)
 Lateinamerika (1)
 Foreign Investment (1)
 Contaminación Ambiental (1)
 Credit Unions (1)
 Primarization (1)
 Carbon Emissions (1)

Tabela 26 – Tópicos, PC – Eficiência Energética e Plataforma de Petróleo