

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PECE – PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA DA ESCOLA POLITÉCNICA
DA USP

DOUGLAS XAVIER DE ASSIS

“COGERAÇÃO COM SISTEMAS EFICIENTES”
USO DE TURBINA A GÁS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E ÁGUA
QUENTE EM INDÚSTRIA AUTOMOBILISTA

São Paulo
2018

DOUGLAS XAVIER DE ASSIS

**“COGERAÇÃO COM SISTEMAS EFICIENTES”
USO DE TURBINA A GÁS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E ÁGUA
QUENTE EM INDÚSTRIA AUTOMOBILISTA**

Trabalho de conclusão do curso de especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.
Área de concentração: Eficiência Energética.
Orientador: Prof. Msc. Ronaldo Andreos.

São Paulo
2018

Primeiramente à Deus e depois a minha esposa, filhos e familiares que com muito amor e paciência me incentivaram e deram força para que pudesse tornar real este objetivo.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Msc. Ronaldo Andreos, que com todo esmero e respeito nos auxiliou nos dando todo o suporte para o desenvolvimento e estruturação deste trabalho.

A todos os Professores do curso de Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência energética do PECE, que se dedicaram em transmitir informações e casos que enriqueceram nossos conhecimentos, como também compartilhando suas experiências profissionais e pessoais.

Aos companheiros e colegas deste curso, que durante as inúmeras horas que estudamos juntos tornaram possível um grande aprofundamento nos assuntos abordados nas disciplinas do curso ao longo destes anos.

LISTA DE FIGURAS E LISTA DE TABELAS

Figura 1 - Faixa típica de temperatura para os sistemas de cogeração em <i>topping</i>	23
Figura 2 - Cogeração do tipo <i>topping</i>	23
Figura 3 - Cogeração do tipo <i>bottoming</i>	24
Figura 4 - Turbina a gás	30
Figura 5 - Caldeira de recuperação	31
Figura 6 - Turbinas a gás	33
Figura 7 - Turbina a gás GE.....	34
Figura 8 - Geradores.....	35
Figura 9 - Modernas plantas de automóveis	36
Figura 10 - Energia elétrica, água gelada, água quente	36
Figura 11 - VM – Planta Anchieta	38
Figura 12 – Abastecimento de energia elétrico galpão pintura.....	39
Figura 13 - Subestação Distribuidora Ala XIII	40
Figura 14 - Diagrama Unifilar - Subestação Distribuidora Ala XIII.....	40
Figura 15 - Pintura Eletroflorética de carroceria por imersão.....	41
Figura 16 - Processo de pintura robotizado.....	41
Figura 17 - Caldeira de aquecimento fluído térmico.....	43
Figura 18 - Custo Caldeira AQ	43
Figura 19 - Lavagem e fosfatização de carrocerias por imersão.....	44
Figura 20 - Sistema Elétrico Atual.....	45
Figura 21 - Sistema elétrico proposto.....	45
Figura 22 - Proposta completa de Cogeração Energia Elétrica e Produção de Água Quente	46
 Tabela 1 - Processo de pintura robotizado	 42
Tabela 2 - Energia elétrica.	47
Tabela 3 - Custo energia elétrica.	47
Tabela 4 - Balanço energético.....	48
Tabela 5 - Qualificação da cogeração.....	48
Tabela 6 - Análise econômica / viabilidade.....	49
Tabela 7 - Resultado financeiro.....	50

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Racionalidade energética.....	25
Equação 2 - Razão potência calor.	26
Equação 3 - Razão energia vapor.	26
Equação 4 - Fator de Utilização de Energia.	26
Equação 5 - Índice de poupança de energia.	27
Equação 6 - Índice de geração de potência.	27

LISTA DE ABREVIATURAS

ABRACE	Associação Brasileira de Grandes Consumidores Industriais de Energia e de Consumidores Livres
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CCEE	Comercialização de Energia Elétrica
CMSE	Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FUE	Fator de Utilização de Energia
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
IGP	Índice de Geração de Potência
IPE	Índice de Poupança de Energia
MME	Ministério das Minas e Energia
PCH	Centrais hidrelétricas
PCI	Poder Calorífico Inferior
PIE	Produtor Independente de Energia
RESEB	Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro
VER	Razão Energia Vapor
TUSD	Tarifa de Uso dos Sistemas Elétricos de Distribuição

RESUMO

No território brasileiro o mercado de energia é composto por dois ambientes de comercialização, o Ambiente de Contratação Regulada – ACR e o Ambiente de Contratação Livre – ACL. Já consumidor final, é dividido em três categorias, os consumidores cativos, consumidor livre e consumidor especial. Destaca-se que, no mês de dezembro de 2017, estes consumidores perfaziam quase 29% do mercado. A reforma do mercado livre de energia brasileiro, sob a forma do projeto de lei PL 1.917/15, é que até o ano de 2022, independentemente do tipo de consumidor esse possa fazer a escolha de se fornecedor de energia, independente do perfil de carga. Segundo a Associação Brasileira de Grandes Consumidores Industriais de Energia e de Consumidores Livres - ABRACE, (2018), a tarifa para os brasileiros entre os anos de 2014 e 2017, sofreu alta de 31,5% e estima-se que, até o final de 2018, a alta acumulada atinja a marca de 44% (ABRACE, 2018). A escolha do estudo em questão, ou seja, o galpão do processo de pintura, foi pelo mesmo apresentar um grande potencial para ganhos através da cogeração, utilizando os insumos elétricos e térmicos nos processos: Pré-Tratamento (VBH), Pintura Eletroflorética KTL, Vedação (PVC), Pintura Primer, Pintura Base, Pintura Verniz. Também após a Pintura Verniz, a carroceria passa por um processo conhecido como Fluten (WAX), que se trata de aplicação de cera quente nas cavidades ocas da carroceria (anticorrosivo). Nesse sentido, o objetivo geral desta monografia é a identificar a possibilidade de tornar o fornecimento de energia elétrica mais segura, com a implantação de uma central de cogeração como fonte principal de energia elétrica e o grid (concessionária) permanece como backup, no galpão de pintura, da Empresa **VM** localizado em São Bernardo do Campo. Pode-se concluir que, a planta de Cogeração de Energias para o processo, pode ser considerado eficiente, pois, conforme os cálculos apresentados, a planta de Cogeração oferecerá 95% de disponibilidade de Energia, com Fator de Utilização de Energia (FUE) de 86% e uma economia operacional anual de aproximadamente R\$ 11 milhões.

Palavras-chaves: Cogeração. Energia. Ganhos. Insumos Elétricos. Processos. Térmicos.

ABSTRACT

In the Brazilian territory, the energy market is composed of two commercialization environments, the Regulated Contracting Environment (ACR) and the Free Contracting Environment (ACL). Already end consumer, it is divided into three categories, captive consumers, free consumer and special consumer. It should be noted that in December 2017 these consumers accounted for almost 29% of the market. The reform of the Brazilian free energy market, in the form of bill PL 1,917 / 15, is that by 2022, regardless of the type of consumer, this can make the choice of being a supplier of energy, regardless of the load profile. According to the Brazilian Association of Large Industrial Energy Consumers and Free Consumers - ABRACE, (2018), the tariff for Brazilians between 2014 and 2017, increased by 31.5% and it is estimated that, until the end of 2018, the accumulated high will reach the mark of 44% (ABRACE, 2018). The choice of the study in question, that is, the shed of the painting process, was the same to present a great potential for gains through the cogeneration, using the electrical and thermal inputs in the processes: Pre-Treatment (VBH), Electrophoretic Painting KTL, Fencing (PVC), Primer Paint, Base Paint, Varnish Paint. Also after Paint Varnish, the body undergoes a process known as Fluten (WAX), which is about applying hot wax to hollow body cavities (anticorrosive). In this sense, the general objective of this monograph is to identify the possibility of making the electricity supply safer, with the implementation of a cogeneration plant as the main source of electric energy and the grid (concessionary) remains as a backup, in the shed painting, of the VM Company located in São Bernardo do Campo. It can be concluded that the Energy Cogeneration plant for the process can be considered efficient because, according to the calculations presented, the Cogeneration plant will offer 95% of Energy availability, with Energy Utilization Factor (FUE) of 86% and an annual operating savings of approximately R \$ 11 million.

Keywords: Cogeneration. Energy. Earnings. Electrical Inputs. Processes. Thermal.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 PANORAMA ENERGÉTICO NO BRASIL	15
2.1 Antecedentes	15
2.2 Primeira Reforma do Setor Elétrico Brasileiro	16
2.3 A Segunda Reforma Brasileira	18
2.4 Cenário Atual Brasileiro à Geração de Energia Elétrica	19
3 CONFIGURAÇÕES TÉCNICAS.....	22
3.1 Cogeração	22
3.2 Cogeração Qualificada.....	25
3.3 Índices de Desempenho de Cogeração	26
3.4 Modalidades de Produção de Energia.....	28
3.5 Sistemas de Mini Geração e Micro Geração Distribuída	28
3.6 Comercialização de Energia	29
3.7 Turbinas a Gás	30
3.8 Ciclo Brayton.....	31
3.9 Turbinas Aeronáuticas	32
3.10 Turbogeneradores.....	33
3.11 Geradores	35
3.12 Aplicação na Indústria Automobilística	36
4 ESTUDO DE CASO	38
4.1 Situação Atual	38
4.1.1 Sistema elétrico	39
4.1.2 Sistema de aquecimento de água	42
5 SITUAÇÃO PROPOSTA	45
6. CONCLUSÃO	51
REFERÊNCIAS.....	52

1 INTRODUÇÃO

No território brasileiro o mercado de energia é composto por dois ambientes de comercialização, o Ambiente de Contratação Regulada – ACR e o Ambiente de Contratação Livre – ACL. Já consumidor final, é dividido em três categorias, os consumidores cativos, consumidor livre e consumidor especial. Destaca-se que, no mês de dezembro de 2017, estes consumidores perfaziam quase 29% do mercado.

Ressalta-se que o mercado de livre energia se limita aos consumidores que apresentam altos valores de demanda, os consumidores cativos são aqueles que adquirem energia junto as distribuidoras, cujo perfil de consumo não ultrapassa 500 KW. Para estes consumidores as distribuidoras realizam desde a geração da energia até a transmissão para o cliente e suas tarifas são geradas por uma única conta a qual é regulamentada pelo Governo.

Já os consumidores que atingem o consumo 500 KW a 3.000KW são os denominados consumidores especiais. Estes consumidores são incentivados ao consumo de energia advinda de fontes alternativas de geração, como as centrais hidrelétricas - PCH, eólica, biomassa e solar, as quais concedem descontos na Tarifa de Uso dos Sistemas Elétricos de Distribuição - TUSD. A comercialização desta energia acontece de forma bilateral, cuja negociação é realizada entre os agentes geradores e consumidores.

Cada unidade consumidora paga uma conta referente ao serviço de distribuição, prestado pela concessionária local (Tarifa regulada), e uma ou mais faturas referentes à compra de energia, que possui preço estabelecido via contrato bilateral com fornecedores de sua preferência.

Os consumidores livres, são aqueles que se utilizam qualquer tipo de energia, até mesmo a convencional, a qual é gerada por hidrelétricas de grande porte ou termelétricas. Destaca-se que para esse tipo de energia não são concedidos descontos. Os consumidores desta categoria possuem um perfil alto de carga superior a 3000 KW.

O registro e a contabilização deste mercado, a qual foi criada pela Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004 e regulamentada pelo decreto Nº 5.177 de 12 de agosto de

2004, teve como finalidade fazer a viabilização e a comercialização de energia elétrica no mercado de energia brasileiro.

A reforma do mercado livre de energia brasileiro, sob a forma do projeto de lei PL 1.917/15, é que até o ano de 2022, independentemente do tipo de consumidor esse possa fazer a escolha de se fornecedor de energia, independente do perfil de carga. Segundo a Associação Brasileira de Grandes Consumidores Industriais de Energia e de Consumidores Livres - ABRACE, (2018). A tarifa para os brasileiros entre os anos de 2014 e 2017, sofreu alta de 31,5% e estima-se que, até o final de 2018, a alta acumulada atinja a marca de 44% (ABRACE, 2018).

Nesse sentido, o objetivo geral desta monografia é a identificar a possibilidade de tornar o fornecimento de energia elétrica mais segura, com a implantação de uma central de cogeração como fonte principal de energia elétrica e o grid (concessionária) permanece como backup, no galpão de pintura, da Empresa **VM** localizado em São Bernardo do Campo (o nome da empresa será mantido em sigilo por questões éticas).

Devido à instabilidade do Sistema Elétrico Interligado, apresentando muitas falhas no fornecimento de energia elétrica, prejuízo no desligamento inesperado da energia elétrica, culmina na queima de equipamentos elétricos e eletrônicos, scraps de carrocerias e retrabalhos das mesmas, aumentando também o custo homem x hora para restabelecimento da produção resultando na oneração do custo final do produto produzido.

A escolha do estudo em questão, ou seja, o galpão do processo de pintura, foi pelo mesmo apresentar um grande potencial para ganhos através da cogeração, utilizando os insumos elétricos e térmicos nos processos: Pré-Tratamento (VBH), Pintura Eletroflorética KTL, Vedação (PVC), Pintura Primer, Pintura Base, Pintura Verniz. Também após a Pintura Verniz, a carroceria passa por um processo conhecido como Fluten (WAX), que se trata de aplicação de cera quente nas cavidades ocas da carroceria (anticorrosivo).

Através de um estudo preliminar do processo produtivo, foram identificadas as necessidades de energia elétrica segura e água quente para o processo. Em seguida, são definidos diversos casos para dimensionamento, contemplando todo processo produtivo. O sistema é dimensionado para cada caso, sendo determinados vários

parâmetros de operação e eficiência. Por fim, será realizado um breve estudo econômico, com o intuito de verificar a viabilidade financeira do projeto.

- Existe também, a necessidade do insumo térmico quente para o processo, em especial Fluten, onde através da cogeração poderemos produzir água quente para aquecimento da cera.

- Esse trabalho irá apresentar um projeto de uso Turbinas alimentadas com Gás Natural para Cogeração de Energia Elétrica e produção do insumo térmico Água quente.

Devido aos altos custos da energia elétrica vinculada as grandes necessidades para climatização de ambientes ou processos, sejam eles frio ou quente, auto geração tornou-se uma grande oportunidade para dirimir os custos. Entre as oportunidades motivacionais para uso de auto geração temos basicamente: confiabilidade; redução de custos; imagem da empresa; geração distribuída; baixo impacto ambiental.

Com o propósito aqui descrito, o estudo divide-se em seis capítulos.

A introdução apresenta o estudo, justificativa, objetivo e a metodologia utilizada.

No capítulo segundo faz-se referência ao panorama energético no território brasileiro, A criação da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, em 1996, foi um importante marco regulatório nesta nova fase do setor elétrico brasileiro.

O capítulo terceiro destaca-se a cogeração é a geração simultânea e sequencial de duas formas de energias a partir de uma mesma fonte primária, ou seja, uma combinação de energia térmica com energias mecânica e elétrica por meio de uma única fonte de combustível, que no nosso caso será o gás natural.

No capítulo quarto apresenta-se o estudo de caso no Galpão do Processo de Pintura da Indústria **VM** automobilística, localizada no Km 23,5 da Via Anchieta na cidade de São Bernardo do Campo (SP), a 18 km da capital paulista.

O capítulo quinto apresenta a elaboração da proposta de cogeração de energias, foi realizada uma pesquisa no balanço energético da instalação, onde foi iniciado o levantamento dos dados sobre consumo. Realizou-se também, levantamento das informações sobre o processo produtivo e a necessidade suas cargas críticas do Galpão.

O capítulo sexto demonstra a planta de Cogeração de Energias para o processo, “é eficiente”, pois, conforme os cálculos apresentados, a planta de

Cogeração nos oferecerá 95% de disponibilidade de Energia, com Fator de Utilização de Energia - FUE de 86% e uma economia operacional anual de aproximadamente R\$ 11 milhões.

2 PANORAMA ENERGÉTICO NO BRASIL

2.1 Antecedentes

A criação do setor elétrico brasileiro teve princípio ainda no final do século XIX. Este processo se iniciou com a chegada de empresas estrangeiras de energia ao território brasileiro. Neste primeiro momento, o setor não possuía regulamentação efetiva do governo e a mesma se dava por meio de contratos bilaterais de serviço (RODRIGUES, 2012).

Em 1934, é implementado o código de Águas. Esta norma legal foi a primeira a tratar e regulamentar acerca da utilização industrial das águas brasileiras, principalmente no que tange à exploração da energia hidráulica (LOSEKANN, 2003).

O Código de Águas concentrou no governo federal a autoria da regulação específica do setor. O código de Águas pôs fim ao que era conhecida como a cláusula de ouro nos contratos de cessão, que indexavam taxas das empresas do setor elétrico a cotação do ouro, fixando o retorno do capital investido ao valor de 10% (LOSEKANN, 2003).

Diante deste novo cenário, as empresas reduziram seus investimentos e a capacidade instalada passou a crescer a taxas menores. Entretanto, a demanda nos grandes centros urbanos e a falta de oferta produziram um hiato entre oferta e demanda. Este panorama acabou por ocasionar constantes episódios de blecautes, causados por esta disparidade entre oferta e demanda (RODRIGUES, 2012).

Durante o governo de Juscelino Kubitschek, com a implementação do plano de metas, o panorama do setor elétrico sofreu uma reviravolta e passou a apresentar desenvolvimento franco. O plano de metas contava com 25% de seus investimentos voltados para o setor elétrico, buscando alcançar o crescimento de 2,4 GW entre 1955 e 1961 (LOSEKANN, 2003).

O Estado iniciara um novo rumo para o setor elétrico. Uma indústria antes majoritariamente regida por capital privado, a partir de 1960, passara a ser constituída, em maior parte, por capital estatal (LOSEKANN, 2003).

Desta forma, cabe ressaltar que parte considerável do desenvolvimento do setor elétrico brasileiro, em um momento anterior a reforma, se deu durante os planos

nacionais de desenvolvimento. Neste contexto, pode-se destacar o II Plano Nacional de Desenvolvimento (BRASIL, 2009).

Com suas metas de expansão do consumo de energia em 12% e crescimento do PIB em 10%, aliadas a favorável captação de financiamentos externos, vários empreendimentos e projetos energéticos foram desenvolvidos e executados estatal (LOSEKANN, 2003).

Contudo, o governo brasileiro acabou sofrendo as consequências da retração pela qual passaria a economia internacional. O aumento da dívida externa foi como um golpe para o setor elétrico, que passou a acusar dificuldades financeiras após 1980 (SANTOS, 2010).

Segundo Pires (2009), a partir deste momento, surgiram uma série de condicionantes que levaram ao esgotamento do modelo vigente e que levaram a busca de novas soluções para o setor elétrico brasileiro. As condicionantes que, em geral, levam um modelo a uma crise eram:

- Complicações financeiras da união e estados federativos, que inviabilizam o desenvolvimento da oferta de energia elétrica e não permitem a manutenção da credibilidade do segmento de distribuição.

- A ausência de incentivos que promovessem eficiência produtiva e critérios técnicos para uma boa gestão administrativa, que desencadeiam má gestão das empresas do setor elétrico.

- Regime regulatório inadequado, que não possui órgão regulador e apresenta conflitos de interesses não corretamente arbitrados. A existência também de regime tarifário baseado no custo de serviço e de remuneração garantida. (SANTOS, 2010).

2.2 Primeira Reforma do Setor Elétrico Brasileiro

Até o início do século, o setor elétrico brasileiro era basicamente composto por um monopólio estatal. Tanto geração, distribuição e transmissão de energia eram operadas por instituições estatais. A tarifa de energia era calculada com base no custo do produto disponível, não havia qualquer tipo de incentivo ao desenvolvimento de eficiência ou expansão do sistema como um todo (BANDEIRA, 2003).

Os cortes orçamentários e a falta de capital, frequentemente, levavam ao atraso dos cronogramas de implantação e aumento dos custos finais das obras. A questão é que a gestão estatal não era eficiente e era a única opção em um setor que atinge diretamente a todos os cidadãos (BANDEIRA, 2003).

A criação da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, em 1996, foi um importante marco regulatório nesta nova fase do setor elétrico brasileiro. Agora, as políticas do setor estavam diretamente no comando do Estado e isto trazia algumas diretrizes que buscavam objetivos de interesse da instituição pública. A busca pela eficiência produtiva, o controle da inflação, a gestão do déficit público era comumente objetivada (PIRES, 2009).

Diante do esgotamento da capacidade do Estado em financiar o sistema elétrico, em 1995, surge o projeto de Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro – RESEB. Este projeto buscava criar um ambiente de competição no setor de geração e comercialização e instaurar forte regulação nos setores de transmissão e distribuição. Este processo se daria via privatização de muitas empresas do setor (BANDEIRA, 2003).

O projeto de privatização ocorreu de forma gradual, objetivando reduzir o déficit público, desenvolver a capacidade produtiva e restituir o poder de investimento das companhias do setor elétrico. A priorização da privatização foi pelas distribuidoras, uma vez que o governo entendia que as mesmas eram mais atrativas do que os empreendimentos de geração (PIRES, 2009).

O mercado demonstrava uma preferência por aguardar empresas estatais mais solidas e estabelecidas do que aceitarem o risco de adquirir novos empreendimentos, diante de um cenário institucional instável e volátil que se apresentava (D'ÁRAUJO, 2009).

Este processo levou a privatização de cerca de 80% do segmento de distribuição. Entretanto, a geração continuou, majoritariamente, sob gestão estatal e o segmento de comercialização não sofreu mudanças consideráveis. A questão é que houve pressão política contra a privatização das empresas estatais e o projeto acabou sendo enfraquecido e descontinuado, fortemente influenciado pelo racionamento de energia, que se deu entre junho de 2001 e fevereiro de 2002 (BANDEIRA, 2003).

Segundo D'Araújo (2009), a falta de investimentos fez com que o sistema elétrico brasileiro entrasse em colapso. O fornecimento de energia foi reduzido em 20% e o consumo apresentou redução de 5.000 MW (BANDEIRA, 2003).

2.3 A Segunda Reforma Brasileira

Diante da crise de energia de 2001, fez-se necessário pensar sobre mudanças no setor elétrico. Este processo iniciou-se com a Medida Provisória 144, que posteriormente fora transformada em lei pelo ex-presidente Luiz Inácio Lula da Silva (ESPOSITO, 2010).

Em meio a algumas mudanças, Segundo D'Araújo (2009), A implementação da licitação por custo menor em vez de licitação por preço do bem público e a criação da Empresa de Pesquisa Energética -EPE, foram as mudanças de maior relevância.

Os leilões passaram a ser vencidos não mais pela maior oferta de pagamento referente ao uso do bem público, mas sim através de uma lógica reversa, em que a menor tarifa de eletricidade seria contratada por um período de até 30 anos (ESPOSITO, 2010).

Para D'Araújo (2009), o modelo anterior deixou heranças intocadas e a liberdade do mercado seria uma delas. Com o então presidente Luiz Inácio Lula da Silva empossado, as privatizações do setor elétrico brasileiro ficaram estagnadas. Entretanto, o modelo do setor permaneceu inalterado. Desta forma, por meio de outorgas e leilões, a energia seguia como mercadoria (ESPOSITO, 2010).

A crise energética de 2001 se deu devido a ausência de investimentos no setor. A redução nas taxas de investimento no sistema elétrico ocorreu em virtude de mal planejamento e má coordenação (ESPOSITO, 2010).

Em 2004, é criada a Empresa de Pesquisa Energética - EPE, instituição de função técnica e que possui como objetivos principais desenvolver estudos técnicos e desempenhar a função de planejamento energético (CAMARGO, 2005).

Muito em função do fortalecimento regulatório, houve o ressurgimento dos investimentos voltados para o segmento de geração, que, na visão do mesmo, são os investimentos maiores e desencadeiam investimentos em outros setores (CAMARGO, 2005).

Com a nova instituição de planejamento, os investimentos voltaram a ser aportados e o setor apresentou crescimento notável entre o período de 2002 a 2013, muito em função do investimento público. Majoritariamente, entres os grandes empreendimentos do setor, as centrais elétricas públicas eram responsáveis por 85% da geração (ANEEL, 2008).

Neste cenário, o governo volta a atuar ativamente no planejamento e financiamento de projetos no setor elétrico brasileiro. Durante os governos de Lula e Dilma, esta relação fica bem clara. A energia é imprescindível para o desenvolvimento econômico e crescimento do país em geral. Os governos petistas implementaram programas de desenvolvimento que consideravam grandes investimentos na expansão do setor elétrico (BRASIL, 2009).

Entretanto, apesar de o governo estar a frente dos financiamentos e da promoção da expansão do setor elétrico, questões ambientais fizeram com que o crescimento não fosse dentro do esperado (BRASIL, 2009). Por estas questões ambientais, o parque gerador brasileiro vem se diversificando. O histórico sempre foi de maioria hidrelétrica e ainda o é. Entretanto, em virtude da maior dificuldade em se construir plantas hidrelétricas, novas fontes surgem como alternativa para a geração de energia no Brasil (ANEEL, 2009).

O que inicialmente parecia ser uma ideia inovadora e oportuna, acabou por tornar-se fonte de problemas. Equívocos cometidos, a reforma realizada com moldes internacionais e outros fatores acabaram por comprometer o sucesso do modelo implementado. Este cenário culminou em um blecaute que atingiu grande parte do Brasil (D'ÁRAUJO, 2009).

2.4 Cenário Atual Brasileiro à Geração de Energia Elétrica

O Brasil enfrenta uma situação hidrológica desfavorável à geração de energia elétrica, onde aumentam as discussões sobre a diversificação da matriz energética nacional. Desde a crise de abastecimento de energia elétrica, em 2001, quando o governo decretou medidas de racionamento, as características do parque gerador nacional mudaram sensivelmente.

Enquanto a capacidade instalada de geração hidrelétrica aumentou 38%, a capacidade de geração termoeletrica cresceu 249%, evidenciando a preocupação em tornar o sistema menos suscetível às mudanças climáticas (EPE, 2014). No contexto atual, o país atravessa, novamente, uma situação climática adversa, já que desde 2012 são observadas incidências de chuvas abaixo da Média de Longo Termo (ONS, 2015).

Além do mais, a publicação da Medida Provisória N° 579, de 2012, alterou as regras do mercado de geração de energia elétrica, trazendo reduções nas tarifas para os consumidores finais, o que estimula o aumento do consumo. Ambos os fatos acarretaram uma depredação severa dos reservatórios d'água que alimentam as usinas hidrelétricas nacionais, trazendo novamente à tona o tema do racionamento de energia. Sem as providências tomadas após o apagão de 2001, o país estaria em situação muito mais crítica.

Diversas instituições foram criadas, tais como a Empresa de Pesquisa Energética - EPE, o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico - CMSE e a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica - CCEE. Juntamente com as já existentes, o Ministério das Minas e Energia - MME, a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL e o Operador Nacional do Sistema - ONS, o setor está melhor organizado e capacitado para o enfrentamento de contingências.

A diversificação recente da matriz de geração de energia elétrica, historicamente baseada na geração hidráulica, ajudou a compensar a redução da geração hidrelétrica. Além do expressivo aumento da capacidade de geração térmica, a geração eólica tem obtido grande destaque; já foram vendidos aproximadamente 8.5 GW de capacidade instalada desde que os leilões de energia começaram, em 2004 (CCEE, 2015).

Desse total, 6.4 GW já estão em operação. Atualmente, as capacidades instaladas de geração hidrelétrica e termelétrica são 85 GW e 39 GW, respectivamente (ANEEL, 2008). A atual crise motivou a ANEEL a buscar soluções no curto prazo, de forma a ampliar a oferta de energia elétrica ao mercado. Nesse sentido, foi estabelecido o 3º Leilão 2 de Energia de Reserva de 2015, com o intuito de oferecer ao mercado energia elétrica excedente proveniente de produtores

independentes já operando ou com disponibilidade de instalação imediata e início de suprimento em janeiro de 2016.

Apesar do preço teto de R\$ 581,00 / MWh ter sido convidativo, as restrições de qualificação impostas pela EPE inviabilizaram o leilão, ocorrido em 3 de julho, no qual nenhum empreendimento foi vendido (CCEE, 2015). Destaca-se que, o recente insucesso, nos últimos anos foram vendidos empreendimentos termelétricos baseados em gás natural com capacidade instalada expressiva, associados a terminais de regaseificação de gás natural liquefeito importado (CCEE, 2015). Além do mais, haverá o aumento da oferta de gás natural ao mercado proveniente da produção do pré-sal, possibilitando a expansão da geração termelétrica (SANTOS, 2010).

É nesse contexto, que os sistemas de cogeração de energia se apresentam como soluções energéticas de grande interesse, já que, através da geração simultânea de energia elétrica e calor útil, a partir de uma única fonte primária, obtêm-se grandes eficiências.

Desta forma, reduzem-se não só o consumo de recursos energéticos não renováveis como o impacto ambiental causado pelo despejo dos resíduos sólidos e atmosféricos provenientes do processo gerador (BANDEIRA, 2003). Apesar de haver uma série de incentivos para a implantação de centrais de cogeração de energia, o desconhecimento, a dificuldade de obtenção de licenças ambientais e os altos investimentos iniciais são entraves para o desenvolvimento desta modalidade de geração no país (SANTOS, 2010).

Atualmente, há 80 usinas no Brasil operando com licença de cogeração qualificada, totalizando 4.1 GW de capacidade instalada (ANEEL, 2008). Portanto, no cenário atual de estímulo à diversificação da matriz energética nacional, à expansão da oferta de gás natural e ao uso racional e eficiente dos recursos, a cogeração de energia apresenta-se como uma alternativa viável, que merece grande atenção. O presente trabalho pretende entender como que a implantação de centrais de cogeração pode trazer retorno social, ambiental e financeiro.

3 CONFIGURAÇÕES TÉCNICAS

Neste capítulo apresentaremos as definições de cogeração, seus tipos, os ciclos termodinâmicos utilizados no processo, e os equipamentos que a viabilizam e custos.

3.1 Cogeração

A Cogeração é a geração simultânea e sequencial de duas formas de energias a partir de uma mesma fonte primária, ou seja, uma combinação de energia térmica com energias mecânica e elétrica por meio de uma única fonte de combustível, que no nosso caso será o gás natural. Nestes processos busca-se a melhor produção de energia através da melhor empregabilidade do combustível em questão (GEHLING, 2007). Como parâmetro normal, de sistema convencional tem-se algo em torno de 65% da energia do combustível utilizado é desperdiçada para o meio através do calor e somente os demais 35% são utilizados para geração de energia elétrica (CLEMENTINO, 2001).

Em contrapartida, na cogeração 35% do combustível utilizado é para geração de energia elétrica e aproximadamente algo em torno de 50% é transformada em energia térmica para os processos e os desperdícios caem para algo próximo dos 15% (HIRSCHEFELD, 2000). Por volta de 1870 nos Estados Unidos, surgiram os primeiros sistemas de cogeração que se baseavam em máquinas a vapor acopladas a geradores elétricos, onde a energia gerada utilizava-se para habitações e o vapor para aquecimento de ambientes.

Durante certo período, mais precisamente na década de 40, a cogeração perdeu um pouco de espaço devido às grandes centrais de energia elétrica, porém na década de 70 com a crise do petróleo e as crescentes preocupações ambientais a cogeração ganhou fôlego novamente (HOJI, 2000).

Os ciclos de cogeração podem ser definidos como ciclos topping onde a geração de energia elétrica antecede a produção de vapor e o calor rejeitado pelo ciclo é aproveitado pelo processo industrial, já nos ciclos bottoming o calor da queima do combustível é utilizado primeiramente nos processos fabris e o calor rejeitado

destes processos são utilizados para produção de energia elétrica. Com estas definições, podemos entender que os processos tipo topping são os mais utilizados, porque o calor rejeitado geralmente está com temperaturas baixas deixando de ser eficiente para geração de energia elétrica (GEHLING, 2007), conforme figura 1.

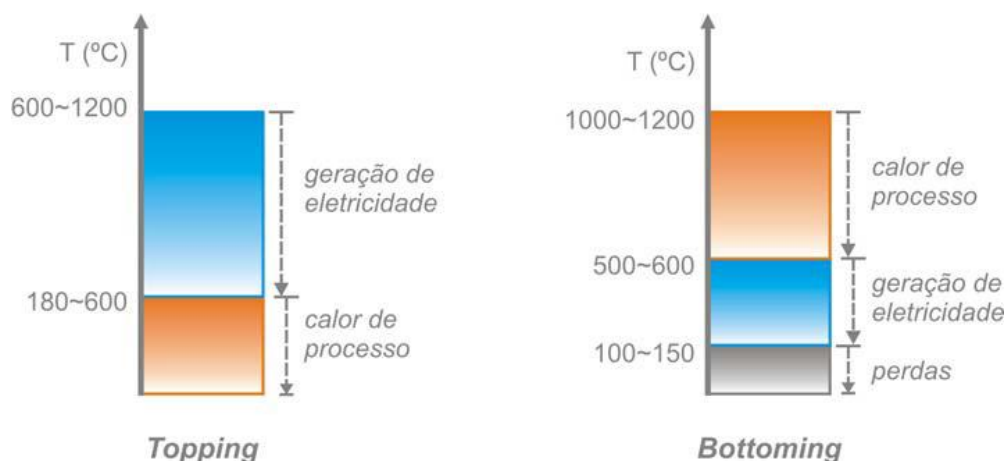


Figura 1 - Faixa típica de temperatura para os sistemas de cogeração em *topping*

Fonte: Gehling (2007).

A cogeração pode ser aplicada em diferentes setores, como por exemplo, no industrial podemos citar as áreas químicas, petroquímicas, farmacêuticas entre outros, e neste contexto podemos verificar alguns benefícios e dentre eles a redução dos gases do efeito estufa, redução da dependência de combustíveis fósseis, e descentralização quanto ao fornecimento de energia permitindo que os indivíduos e empresas sejam menos dependentes das concessionárias distribuidoras de energia (HOJI, 2000), conforme figura 2.



Figura 2 - Cogeração do tipo *topping*

Fonte: Hoji (2000).

Nos EUA e em alguns países da Europa, como na Alemanha, a implantação de sistemas de cogeração tem crescido continuamente. Países como a Dinamarca, Finlândia, Rússia, Letônia e Holanda são considerados modelos quanto ao uso desse sistema, sendo que de 30% a 50% da energia total produzida nesses países é gerada por meio da cogeração, (GEHLING, 2007), conforme figura 3.

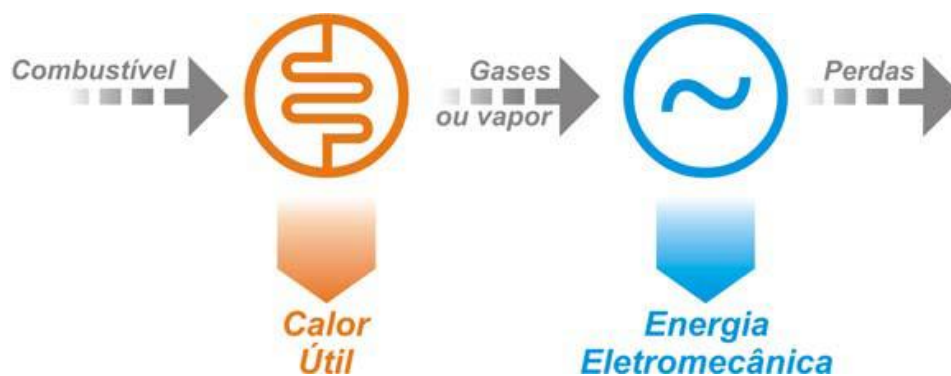


Figura 3 - Cogeração do tipo *bottoming*
Fonte: Hoji (2000).

Os sistemas de cogeração do tipo *bottoming* são de utilização restrita, uma vez que o calor rejeitado pelos processos industriais se encontra em níveis de temperatura geralmente insuficientes para o seu emprego na produção de energia eletromecânica. Alguns processos industriais, siderúrgicas, fornos cerâmicos, cimenteiras, refinarias de petróleo operam em altas temperaturas, entre 1000~1200°C (COSTA e ATTIE, 2005).

Após o processo, os gases de exaustão ainda se encontram a temperaturas elevadas (500~600°C). Ao invés de descartá-lo diretamente na atmosfera, este calor residual pode ser direcionado a um trocador de calor, para produção de vapor que alimentará uma turbina a vapor. Desta forma, a energia contida no combustível pode ser mais bem aproveitada, com o uso inicial em uma carga térmica e na sequência a produção de eletricidade num ciclo do tipo *bottoming*. No entanto, este tipo de cogeração apresenta, em geral, rendimentos eletromecânicos inferiores aos encontrados no tipo *topping*, que trabalham com temperaturas mais elevadas obtidas da queima direta de combustíveis (GEHLING, 2007).

No Brasil a cogeração ainda é pouco explorada, mas já existem alguns projetos instalados, principalmente no estado São Paulo (GEHLING, 2007).

3.2 Cogeração Qualificada

Segundo a resolução normativa N°235 de 14 de novembro de 2006 da ANEEL, a central termelétrica cogeneradora deve atender os seguintes requisitos para fins de enquadramento na modalidade de cogeração qualificada: Estar regularizada perante ANEEL, conforme o disposto na legislação específica e na resolução n°112 de 18 de maio de 1999, a qual foi revogada e substituída pela resolução normativa n° 390 de 15 de dezembro de 2009. Atender os requisitos mínimos de racionalidade energética, mediante o cumprimento das inequações (a) e (b) respectivamente, conforme equação 1:

Equação 1 - Racionalidade energética.

$$\text{a) } \frac{E_t}{E_f} \geq 15\% \qquad \text{b) } \frac{E_t}{E_f} \div X + \frac{E_e}{E_f} \geq Fc\%$$

Fonte: Aneel (2016).

Onde:

E_f - Energia da fonte: energia recebida pela central termelétrica cogeneradora, no seu regime operativo médio, em kWh/h, com base no conteúdo energético específico, que no caso dos combustíveis é o Poder Calorífico Inferior - PCI;

E_e - Energia da utilidade eletromecânica: energia cedida pela central termelétrica cogeneradora, no seu regime operativo médio, em kWh/h, em termos líquidos, ou seja, descontando da energia bruta gerada o consumo em serviços auxiliares elétricos da central;

E_t - Energia da utilidade calor: energia cedida pela central termelétrica cogeneradora, no seu regime operativo médio, em kWh/h, em termos líquidos, ou seja, descontando das energias brutas entregues ao processo as energias de baixo potencial térmico que retornam à central;

Fc% - Fator de cogeração: parâmetro definido em função da potência instalada e da fonte da central termelétrica cogeneradora, o qual se aproxima do conceito de Eficiência Exergética;

X - Fator de ponderação: parâmetro adimensional definido em função da potência instalada e da fonte da central termelétrica cogeneradora, obtido da relação

entre a eficiência de referência da utilidade calor e da eletromecânica, em processos de conversão para obtenção em separado destas utilidades.

3.3 Índices de Desempenho de Cogeração

A Razão Potência Calor - RPC é a relação entre a o trabalho útil disponível e o calor útil disponível, conforme equação 2:

Equação 2 - Razão potência calor.

$$RPC = \frac{\dot{W}_{\text{útil}}}{Q_{\text{útil}}}$$

Fonte: Barbeli (2015)

A Razão Energia Vapor - REV é a relação entre a energia elétrica útil disponível e o fluxo de massa na turbina. O inverso deste parâmetro é conhecido como Heat rate da turbina, conforme equação 3:

Equação 3 - Razão energia vapor.

$$REV = \frac{\dot{W}_{\text{útil}}}{\dot{m}_{\text{turbina}}} \quad (\text{Kj/Kg})$$

Fonte: Barbeli (2015)

O Fator de Utilização de Energia - FUE é semelhante à eficiência de primeira da termodinâmica. Entretanto, ao invés do trabalho útil, é calculado com o trabalho total, conforme equação 4:

Equação 4 - Fator de Utilização de Energia.

$$FUE = \frac{\dot{W}_{\text{total}} + Q_{\text{útil}}}{Q_{\text{comb}}}$$

Fonte: Andreos (2015)

O Índice de Poupança de Energia - IPE é um índice de comparação entre plantas de cogeração e plantas que produzem vapor e eletricidade de forma separada. É definido como, conforme equação 5:

Equação 5 - Índice de poupança de energia.

$$\text{IPE} = \frac{\dot{m}_{\text{comb}} * \text{PCI}_{\text{comb}}}{\left[\frac{\dot{W}_{\text{útil}} + \dot{Q}_{\text{útil}}}{\eta_{\text{term}} \eta_{\text{caldeira}}} \right]}$$

Fonte: Barbeli (2015)

onde:

$\eta_{\text{term.}}$: eficiência térmica de uma planta de potência de referência, com tecnologia similar (considerado aqui como 40%);

$\eta_{\text{cald.}}$: eficiência térmica de caldeiras de referência, com tecnologia similar (considerado aqui como 90%).

Finalmente, o Índice de Geração de Potência - IGP é um critério para calcular a eficiência da geração de potência de modo separado, retirando a parcela do consumo de combustível utilizado para produção de calor útil, conforme equação 6:

Equação 6 - Índice de geração de potência.

$$\text{IGP} = \frac{\dot{W}_{\text{total}}}{\dot{m}_{\text{comb}} * \text{PCI}_{\text{comb}} - (\dot{Q}_{\text{útil}} / \eta_{\text{caldeira}})}$$

Fonte: Barbeli (2015)

Estes índices descritos, aliados com os Índices de desempenho propostos pela ANEEL (2008), descritos anteriormente, fornecem boas ferramentas para comparação entre as diversas aplicações de cogeração.

3.4 Modalidades de Produção de Energia

O Decreto Nº 2.003, de 10 de setembro 1996, regulamenta a produção de energia elétrica, ao criar as modalidades de produção de Produtor Independente de Energia e Autoprodutor, que podem ser tanto pessoas jurídicas quanto grupo de empresas reunidas em consórcio (KALECKI, 2012).

A modalidade de Produtor Independente de Energia - PIE recebe concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao comércio de toda ou parte da energia produzida, por sua conta e risco.

A modalidade de autoprodutor recebe concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao comércio de toda ou parte da energia produzida, por sua conta e risco, podendo, mediante autorização da ANEEL (2008), comercializar o excedente de energia (HIRSCHEFELD, 2000).

O Artigo 5º do decreto estabelece que empreendimentos termelétricos menores que 5 MW não necessitam de concessão ou autorização, mas devem ser comunicados ao órgão regulador para fins de registro.

3.5 Sistemas de Mini Geração e Micro Geração Distribuída

A Resolução Normativa Nº 482 de 2012, da ANEEL, estabelece as bases legais para a geração distribuída no Brasil. São definidos os conceitos de Microgeração Distribuída igual ou inferior a 100 kW e Minigeração Distribuída superior a 100 kW e inferior a 1 MW, ambos para fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica biomassa ou cogeração qualificada (HIRSCHEFELD, 2000).

Porém, a resolução ainda não permite a comercialização direta de energia elétrica. Pelo contrário: define o Sistema de Compensação de Elétrica, no qual o agente minigerador ou microgerador cede gratuitamente o excedente de energia que produz para a rede elétrica, e fica com um “crédito” de energia com a distribuidora para ser utilizado em até seis meses (COSTA e ATTIE, 2005).

O problema dessa regulamentação é que os órgãos de receita estaduais consideram a operação de empréstimo de energia como transação comercial e, portanto, cobram ICMS por isso. Adicionalmente, cobram-se ICMS na operação da

volta da energia para o gerador. Portanto, o gerador não recebe a mesma quantidade de energia que empresta, já que paga o ICMS duas vezes. Discussões acerca da possibilidade da isenção de ICMS nas operações de geração distribuída estão em andamento no Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ).

3.6 Comercialização de Energia

Atualmente, o mercado de comercialização de energia elétrica está organizado em dois ambientes distintos: o Ambiente de Contratação Regulada - ACR e o Ambiente de Contratação Livre - ACL. A celebração, liquidação e fiscalização dos contratos em ambos os ambientes está a cargo da CCEE. No ACR, a energia é comercializada através dos Contratos de Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente Regulado - CCEAR, que são celebrados entre geradores e distribuidores de energia que participam dos leilões de compra e venda de energia elétrica, organizados pelo governo (HIRSCHEFELD, 2000)

Por outro lado, no ACL, existe a livre negociação entre os agentes geradores, comercializadores e consumidores, sendo a energia comercializada através dos Contratos de Compra de Energia no Ambiente Livre - CCEAL. É importante dizer que há uma série de requisitos para que um consumidor de energia possa se tornar um agente livre, ao invés dos agentes cativos, como é o caso dos consumidores residenciais.

Na comercialização da modalidade de Energia Incentivada, na qual se enquadram Pequenas Centrais Hidrelétricas, Termelétricas a Biomassa, Centrais Eólicas e Solares com capacidade igual ou inferior a 30 MW e Cogeração Qualificada, há uma série de benefícios, como desconto nas tarifas de transmissão de eletricidade (TUST/TUSD). Os cogeneradores qualificados firmam contratos no ambiente livre na modalidade Contratos de Compra de Energia Incentivada de Cogeração Qualificada - CCEICQ (CCEE, 2015).

Portanto, para a comercialização de energia elétrica, uma central de cogeração qualificada de pequeno porte não pode se enquadrar como mini ou microgerador distribuído, e sim como Energia Incentivada, tendo acesso ao ACL (BURIN, 2007).

3.7 Turbinas a Gás

O termo turbina a gás é mais comumente empregado em referência a um conjunto de três equipamentos: compressor, câmara de combustão e turbina propriamente dita e esta configuração forma um ciclo termodinâmico a gás, cujo modelo ideal denomina-se Ciclo Brayton, concebido por George Brayton em 1870, figura 4.

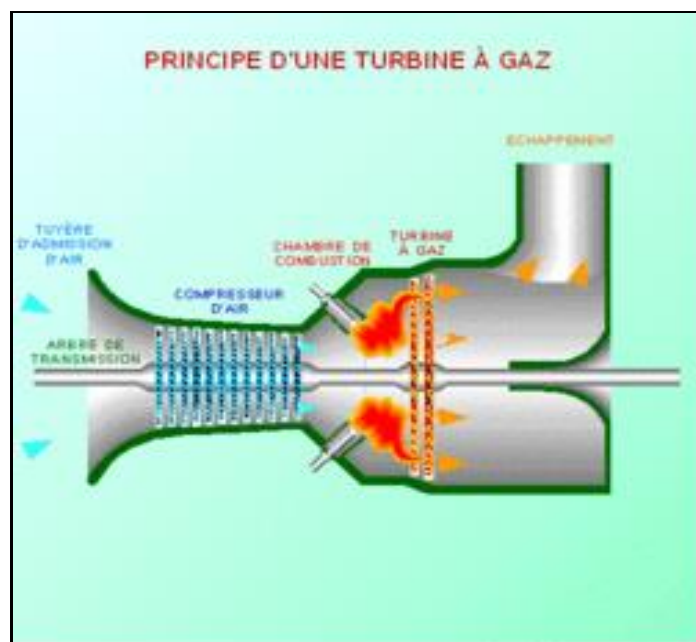


Figura 4 - Turbina a gás
Fonte: Barbeli (2015)

O conjunto opera em um ciclo aberto, ou seja, o fluido de trabalho (ar) é admitido na pressão atmosférica e os gases de escape, após passarem pela turbina, são descarregados de volta na atmosfera sem que retornem à admissão (HIRSCHEFELD, 2000). A denominação turbina a gás pode ser erroneamente associada ao combustível utilizado onde a palavra gás não se refere à queima de gases combustíveis, mas, sim ao fluido de trabalho da turbina, que é neste caso a mistura de gases resultante da combustão e o combustível em si pode ser gasoso, como gás natural, gás liquefeito de petróleo (GLP), gás de síntese ou líquido, como querosene, óleo diesel e até mesmo óleos mais pesados.

3.8 Ciclo Brayton

Existem diversas soluções tecnológicas disponíveis para projeto e aplicação de sistemas de cogeração. As mais comuns são baseadas nos ciclos termodinâmicos Brayton, Rankine, Combinado e Otto/Diesel. Entretanto, atualmente já existem novas tecnologias, como por exemplo, a cogeração baseada em células de combustível (LORA, 2006). A determinação de qual tecnologia utilizar depende de diversos fatores, desde as características do processo produtivo até as escolhas tomadas pelo projetista (HIRSCHEFELD, 2000).

Nos sistemas baseados em ciclo Brayton, uma turbina a gás, acoplada geralmente a um gerador, queima o combustível (líquido ou gasoso), gerando trabalho. Os gases de exaustão, que saem a altas temperaturas, passam então por uma caldeira de recuperação, tanto produzindo vapor quanto fornecendo calor diretamente ao processo. Tecnologias recentes de gaseificação permitem a utilização de combustíveis sólidos (o combustível sólido é transformado em gás no gaseificador) (BURIN, 2007), figura 5.

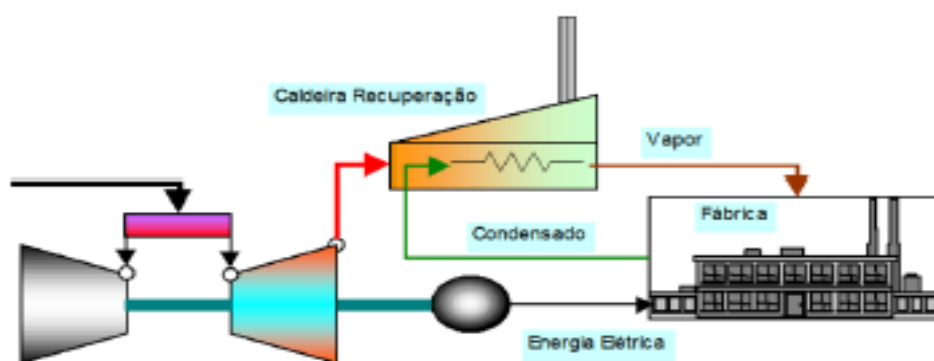


Figura 5 - Caldeira de recuperação
Fonte: Hirschfeld (2000).

O ciclo se constitui de quatro etapas, onde primeiramente o ar em condição ambiente passa pelo compressor, onde ocorre compressão adiabática e isentrópica, com aumento de temperatura e consequente aumento de entalpia e o ar Comprimido é direcionado às câmaras, onde se mistura com o combustível possibilitando queima e aquecimento, à pressão constante, ao sair da câmara de combustão, os gases à

alta pressão e temperatura, se expandem conforme passam pela turbina, idealmente sem variação de entropia (LEAL, 2006).

Na medida em que o fluido exerce trabalho sobre as palhetas, reduzem-se a pressão e temperatura dos gases, gerando-se potência mecânica e esta é extraída através do eixo da turbina que é usada para acionar o compressor e eventualmente para acionar outra máquina. Já a quarta etapa não ocorre fisicamente, se tratando de um ciclo termodinâmico aberto conceitualmente, esta etapa representa a transferência de calor do fluido para o ambiente (BALESTIERI, 2002).

Desta forma, mesmo se tratando de um ciclo aberto, parte da energia proveniente da combustão é rejeitada sob a forma de calor, contido nos gases quentes de escape sendo que essa rejeição de calor é um limite físico, intrínseco ao funcionamento de ciclos termodinâmicos, mesmo nos casos ideais, como define a segunda lei da termodinâmica) (BURIN, 2007).

A perda de ciclo ideal pode ser quantificada pela potência proveniente do combustível, descontando-se a potência de acionamento do compressor e a potência líquida assim diminui-se a perda à medida que se reduz a temperatura de escape e se eleva a temperatura de entrada da turbina, o que faz da resistência, a altas temperaturas, das partes da turbina um ponto extremamente crítico na tecnologia de construção destes equipamentos (LEAL, 2006).

3.9 Turbinas Aeronáuticas

Turbinas a gás são amplamente empregadas na propulsão de aviões e outros tipos de aeronaves e isto se deve principalmente a característica de alta densidade de potência em relação a outras máquinas como motora de combustão interna, ou seja, as turbinas a gás geram maiores potências comparadas a máquinas de mesmo peso, o que é vantajoso, uma vez que a redução do peso das aeronaves acarreta em maior eficiência e capacidade de carga, figura 6.

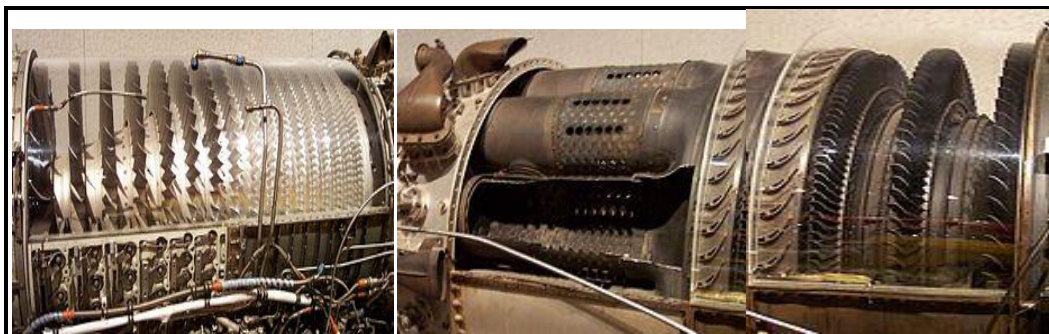


Figura 6 - Turbinas a gás
Fonte: Hirschfeld (2000).

Existem diferentes configurações de turbina aeronáuticas como, por exemplo, em turbinas do tipo turbojato, onde o eixo movimentado pela turbina propriamente dita, apenas aciona o compressor. Em última análise, através do bocal, o restante da potência útil é consumido na aceleração dos gases, responsável pelo empuxo gerado (BALESTIERI, 2002).

Outros tipos de propulsores (turboélices ou turbofans) também baseados em ciclos a gás têm o eixo acoplado a hélices ou ventiladores que impelem parte do ar por by-pass, ou seja, sem que o mesmo passe através da turbina sendo nestes casos, o empuxo se deve em parte aos gases de escape da turbina e em parte ao fluxo de ar externo.

3.10 Turbogeneradores

Turbinas a gás dedicadas à geração de energia elétrica são divididas em duas principais categorias no que se refere à concepção, a Heavy-duty que são desenvolvidas especificamente para a geração de energia elétrica ou propulsão naval e as Aero derivativas, desenvolvidas a partir de projetos anteriores dedicados a aplicações aeronáuticas.

Com a exceção das microturbinas (dedicadas à geração descentralizada de energia elétrica) o compressor utilizado geralmente trabalha com fluxo axial, tipicamente com 17 ou 18 estágios de compressão onde cada estágio do compressor é formado por uma fileira de palhetas rotativas que impõem movimento ao fluxo de ar (energia cinética) e uma fileira de palhetas estáticas, que utiliza a energia cinética para compressão. O ar sai do compressor a uma temperatura que pode variar entre 300°C

e 450°C e cerca de metade da potência produzida pela turbina de potência é utilizada no acionamento do compressor e o restante é a potência líquida gerada que movimenta um gerador elétrico, conforme figura 7.

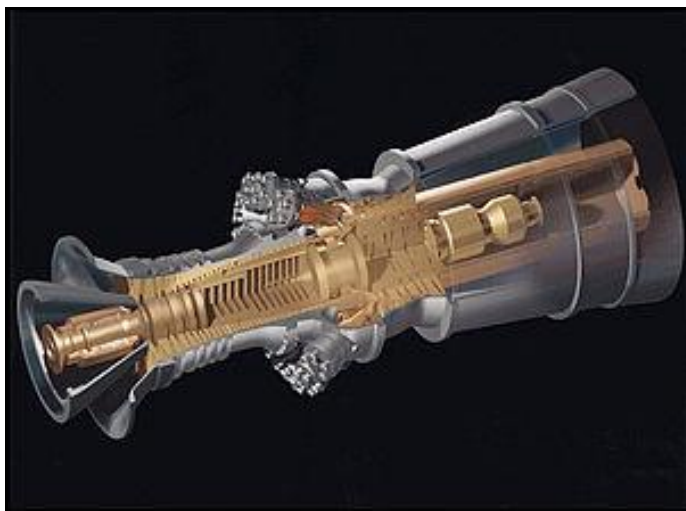


Figura 7 - Turbina a gás GE
Fonte: Hirschfeld (2000).

Saindo da câmara de combustão, os gases têm temperatura de até 1250°C e após passar pela turbina, estes gases são liberados ainda com significativa disponibilidade energética, tipicamente a temperaturas entre 500 e 650 Celsius. Considerando isso, termelétrica mais eficiente e de maior porte aproveitam este potencial através de um segundo ciclo termodinâmico, a vapor (ou Ciclo Rankine), estes ciclos juntos formam um ciclo combinado, de eficiência térmica superior a 60%, ciclos simples a gás têm tipicamente 35% (CLEMENTINO, 2001).

Turbinas projetadas para operar em ciclo simples, tendo em vista a eficiência térmica do ciclo, têm temperatura de saída de gases reduzida ao máximo e têm otimizadataxa de compressão. A taxa de compressão é a relação entre a pressão do ar à entrada e saída do compressor. Por exemplo, se o ar entra a 1 atm, e deixa o compressor a 15 atm, a taxa de compressão é de 1:15 (BALESTIERI, 2002).

Turbinas a gás específicas para operar em ciclo combinado, são desenvolvidas de modo a maximizar a eficiência térmica do ciclo como um todo. Desta forma, a redução da temperatura dos gases de escape não é necessariamente o ponto mais crítico, em termos de eficiência, uma vez que os gases de saída da turbina ainda são utilizados para gerar potência (LEAL, 2006).

Grupos Geradores são utilizados como fonte principal ou como fonte auxiliar, para suprir a necessidade de energia de forma confiável em empreendimentos de todo e qualquer porte, para quaisquer aplicações, como indústrias, supermercados, shopping centers, hospitais, edifícios residenciais e comerciais, hotéis e outros (CLEMENTINO, 2001).

3.11 Geradores

Grupos geradores são utilizados como fonte principal ou como fonte auxiliar, para suprir a necessidade de energia de forma confiável em empreendimentos de todo e qualquer porte, para quaisquer aplicações, como indústrias, supermercados, shopping Centers, hospitais, edifícios residenciais e comerciais, hotéis e outros.

Os Grupos Geradores são constituídos por um gerador, acionado por motor de combustão, sendo este alimentado por combustível, óleo diesel, gás natural, biogás e outros. Uma das tarefas mais importantes quando da elaboração de projetos de construção em geral é assegurar um suprimento de energia confiável, pois estes são elemento-chave em qualquer projeto, conforme figura 8.



Figura 8 - Geradores
Fonte: Clementino (2001).

3.12 Aplicação na Indústria Automobilística

Uma das mais modernas plantas de automóveis da **MB** no mundo, a fábrica de Iracemápolis tem toda sua energia e utilidades suprida pelo Energy Center executado integralmente pela UNION RHAC, permitindo manter a produção independentemente da rede pública de energia, conforme figura 9.



Figura 9 - Modernas plantas de automóveis
Fonte: Balestieri (2002).

O sistema fornece 2.702 KWe, Energia elétrica e 3000 KW, água quente e é composto, segundo figura 10.



Figura 10 - Energia elétrica, água gelada, água quente
Fonte: Clementino (2001).

- Motogeradores: 2 x 1.351 kWe a GN.
- Caldeira de água quente: 3.000 kW a GN.

- Sistema de ar comprimido.
- Sistema de água potável.
- Sistema de água de combate a incêndio.

4 ESTUDO DE CASO

Galpão do Processo de Pintura da Indústria VM automobilística, localizada no Km 23,5 da Via Anchieta na cidade de São Bernardo do Campo (SP), a 18 km da capital paulista, conforme figura 11.



Figura 11 - VM – Planta Anchieta
Fonte: VM (2018)

Faz parte de um complexo industrial onde estão também desenvolvidos em 3 turnos de produção, atividades como Estamparia, Armação, Montagem Final, centro de pesquisa, planejamento e desenvolvimento de novos produtos. O complexo tem área total de 1,6 milhão m², dos quais 994 mil m² são de área construída.

4.1 Situação Atual

Infelizmente o Sistema Elétrico da empresa do nosso estudo de caso, sofre com desligamentos inesperados causados por surtos, raios, provocados pelas tempestades, como também por manobras executadas nas Estações do Sistema Interligado e outras intercorrências, que por sua vez, interferem no fornecimento de Energia Elétrica para o sistema interligado (AES Eletropaulo), logo, prejudicando o todo malha dependente do sistema interligado.

Por sua vez, o processo produtivo, a cada avaria aumenta o custo com reparos em equipamentos eletrônicos e reposição dos equipamentos queimados. Outro problema grave é o sistema de emergência da instalação, onde o sistema existente para atuar em caso de desligamentos inesperados, apenas em baixa tensão 380 VAC composto por alguns geradores de emergência, atendem algumas cargas críticas.

4.1.1 Sistema elétrico

O Sistema elétrico do estudo de caso é alimentado por uma Subestação de 88kV (provinda do sistema interligado Eletropaulo). A energia elétrica é rebaixada no patamar de 13,8kV e enviada energia elétrica através dos cabearios para a Subestação Distribuidoras 13,8kV e essa por sua vez envia a energia elétrica para as Subestações Blindadas 13,8kV, conforme figura 12.

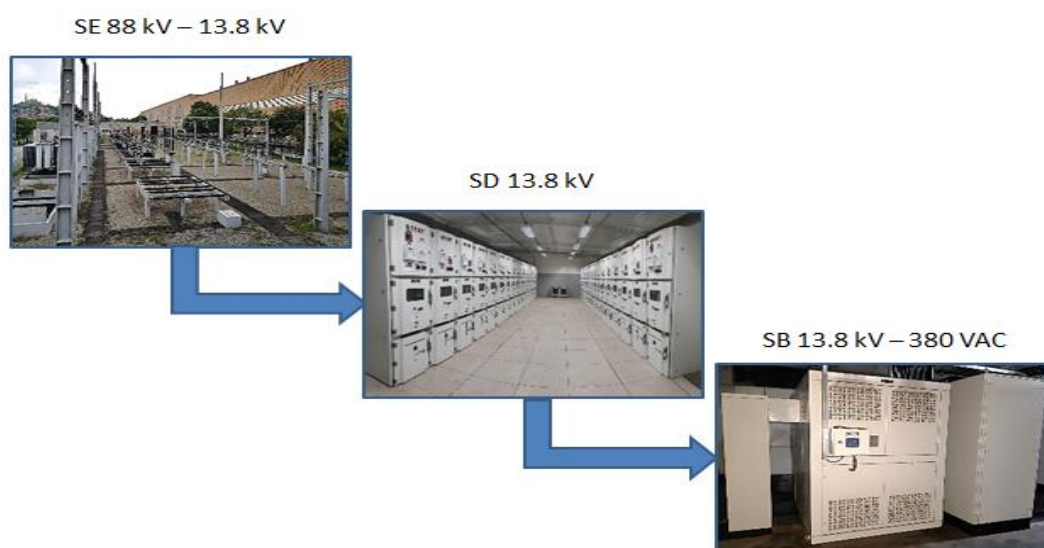


Figura 12 – Abastecimento de energia elétrico galpão pintura
Fonte: VM (2018)

As Subestações - SE são formadas por um conjunto de instalações elétricas em de alta tensão que agrupa os equipamentos, condutores e acessórios, destinados à proteção, medição, manobra e transformação de grandezas elétricas. As Subestações Blindadas rebaixam a tensão elétrica de 13,8 kV para 380 VAC, nível de tensão para funcionamentos dos equipamentos, conforme figura 13.



Figura 13 - Subestação Distribuidora Ala XIII
Fonte: VM (2018).

As SE são pontos de convergência, entrada e saída, de linhas de transmissão ou distribuição. Com frequência, constituem uma interface entre subsistemas. As Subestações Blindadas são construídas em locais abrigados, os equipamentos são completamente protegidos e isolados em óleo ou em gás. Os Painéis Elétricos Tiristorizados responsáveis pela pintura Eletroflorética, sofrem com os desligamentos inesperados, conforme figura 14.

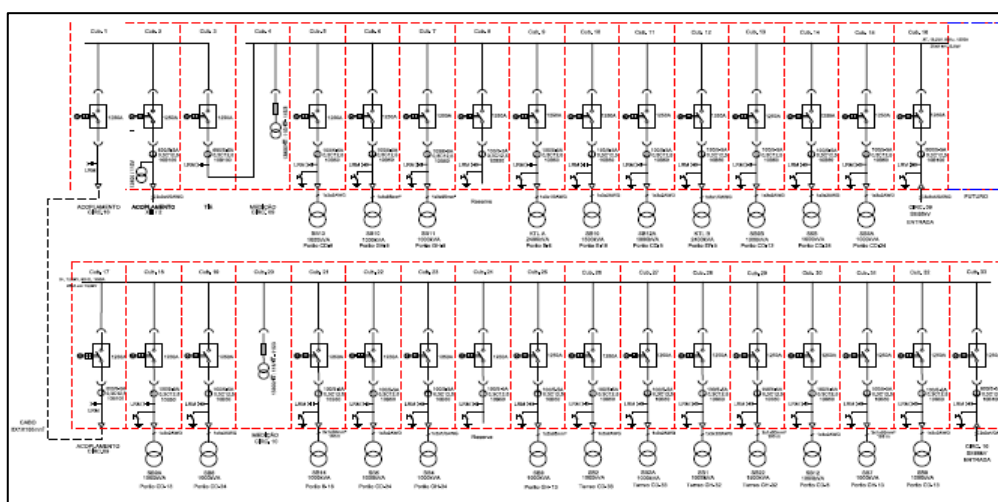


Figura 14 - Diagrama Unifilar - Subestação Distribuidora Ala XIII
Fonte: VM (2018).

A carroceria é polarizada negativamente, enquanto a tinta e as células diálises contidas no tanque, ficam polarizadas positivamente. O objetivo desse processo é

criar uma camada uniforme de tinta promovendo a camada anticorrosiva, conforme figura 15.



Figura 15 - Pintura Eletroflorética de carroceria por imersão
Fonte: VM (2018).

Pode-se citar mais um processo crítico, que depende diretamente do fornecimento do sistema elétrico. Esse sistema é o de pintura de carrocerias, que podem ser distinguidos em três partes: Pintura Primer (fundo), Pintura Base e por último, a Pintura Verniz, conforme figura 16.



Figura 16 - Processo de pintura robotizado
Fonte: VM (2018).

No processo de pintura robotizada, os módulos e motores dos robôs não possuem sistema Nobreaks. Observa-se na tabela 1, alguns dados quanto aos custos de energia elétrica no sistema atual.

Tabela 1 - Processo de pintura robotizado

<i>Cálculo custo de Energia Elétrica - Sistema Convencional</i>					
AES Eletropaulo A4 AZUL	Custo s/ Impostos	Custo c/ Impostos	Demanda (kW)	Consumo (kWh)	Custo (R\$)
Demanda de Ponta	R\$ 9,81 /kW	R\$ 12,82 /kW	9.000	-	1.384.941
Demanda Fora de Ponta	R\$ 6,86 /kW	R\$ 8,97 /kW	50.424	-	5.425.964
Consumo Anual na Ponta	R\$ 0,41671 /kW	R\$ 0,54472 /kW	-	4.284.578	2.333.891
Consumo Anual Fora de Ponta	R\$ 0,30812 /kW	R\$ 0,40277 /kW	-	200.962.859	80.942.060
Total anual				205.247.437	90.086.856
Custo Especifico EE (R\$/kWh)					0,43892
			Impostos inclusos:		
			PIS/PASEP/COFINS		5,5%
			ICMS		18,0%

Fonte: Adaptado de VM (2018).

Quando ocorrem surtos de energia elétrica, as perdas de produção se devem ao fato do reposicionamento dos robôs, isso quando ocorre a queima dos módulos e fontes PLC's.

4.1.2 Sistema de aquecimento de água

O Sistema de aquecimento de água para o processo, surge a partir de uma Caldeira de 1350 kW alimentada por gás natural que aquece Fluido Térmico a temperatura de 180°C e esse por sua vez aquece água. Para isso existe um trocador de calor Óleo Térmico/ Água de 1150 kW que promove essa troca térmica. Após a troca térmica, a água é aquecida a 145 °C.

Essa por sua vez é disponibilizada para o processo. Em se tratando de criticidade, qualquer defeito no queimador impedindo o mesmo de funcionamento, acarretando o não aquecimento adequado da temperatura da água em 145°C o processo de produção é interrompido acarretando em perdas produtivas, conforme figura 17.



Figura 17 - Caldeira de aquecimento fluído térmico
Fonte: VM (2018).

Custos operacionais com a caldeira do processo atual, conforme figura 18.

Caldeira AQ					
Nº apto.	Caldeira (l/h)	Funcionamento / horas	Dias/ano	Fator de ocupação	Total (l/ano)
1	50000	24	310	1	372.000.000
				Total (l/ano)	372.000.000
Aquecimento médio de 185°C			185 °C	kcal/ano	68.820.000.000
				kW/ano	80.023.256
Aquecimento de água para Total				kcal/ano	68.820.000.000
				kW/ano	80.023.256

Figura 18 - Custo Caldeira AQ
Fonte: Andreos (2018).

Outro processo que depende de temperatura são os tanques do Pré-Tratamento de carrocerias, conhecido como Tanque de Fosfatização, conforme figura 19.



Figura 19 - Lavagem e fosfatização de carrocerias por imersão
Fonte: Andreos (2018).

Trata-se de um processo, onde a carroceria provinda da armação (partes móveis), suja de óleo e fuligens, tem que passar por um processo de lavagem com Desengraxante na temperatura de 50°C.

5 SITUAÇÃO PROPOSTA

Para elaborar a proposta de cogeração de energias, foi realizada uma pesquisa no balanço energético da instalação, onde foi iniciado o levantamento dos dados sobre consumo. Realizou-se também, levantamento das informações sobre o processo produtivo e a necessidade suas cargas críticas do Galpão, conforme figura 20.



Figura 20 - Sistema Elétrico Atual
Fonte: VM (2018).

Objetivo implementar um sistema que traga confiabilidade do fornecimento de energia elétrica e solucionar os casos de desligamento elétricos inesperados e a instalação de um sistema de Cogeração através de turbo geradores, onde os mesmos fornecerão energia elétrica para o processo de maneira sustentável e confiável, substituindo o atual Grid de Energia, conforme figura 21.



Figura 21 - Sistema elétrico proposto
Fonte: VM (2018).

Para isso a nossa proposta compõe-se de substituir o Grid (Eletropaulo) por Turbogeneradores, acoplados a geradores de com capacidade de 3 MW equipada com sistemas para lubrificação, motor elétrico para partida, supervisão, controle e resfriamento do bloco térmico, utilizando gás natural como combustível.

Para controle do nível de ruído dos turbogeneradores, a proposta é, equipá-los com enclausuramento acústico e também com um sistema de ventilação forçada. As tomadas de ar das turbinas são equipadas com filtros para eliminação de particulados existentes no ar atmosférico, silenciadores e telas de proteção.

As turbinas a gás possuem queimadores secos de baixa emissão de NOx, e uma caldeira de recuperação (HRSG), utilizando os gases de exaustão da turbina a gás, gerando um vapor em um nível de pressão com queima suplementar e um sistema de queima independente com ventiladores para ar de combustão, conforme figura 22.

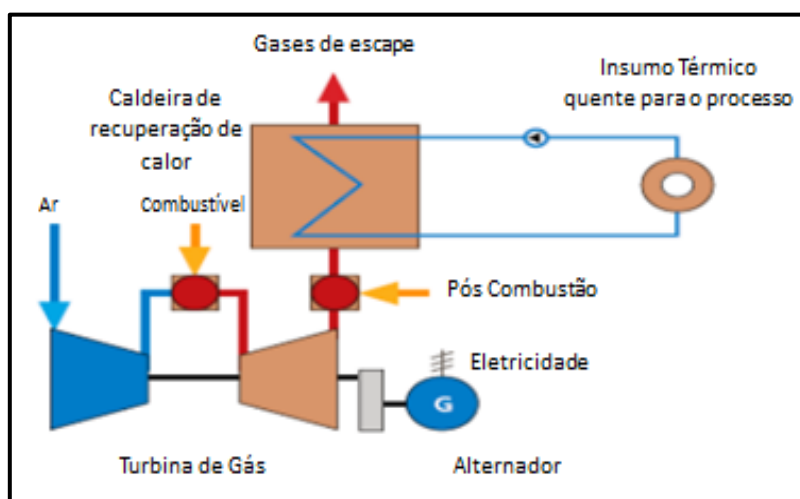


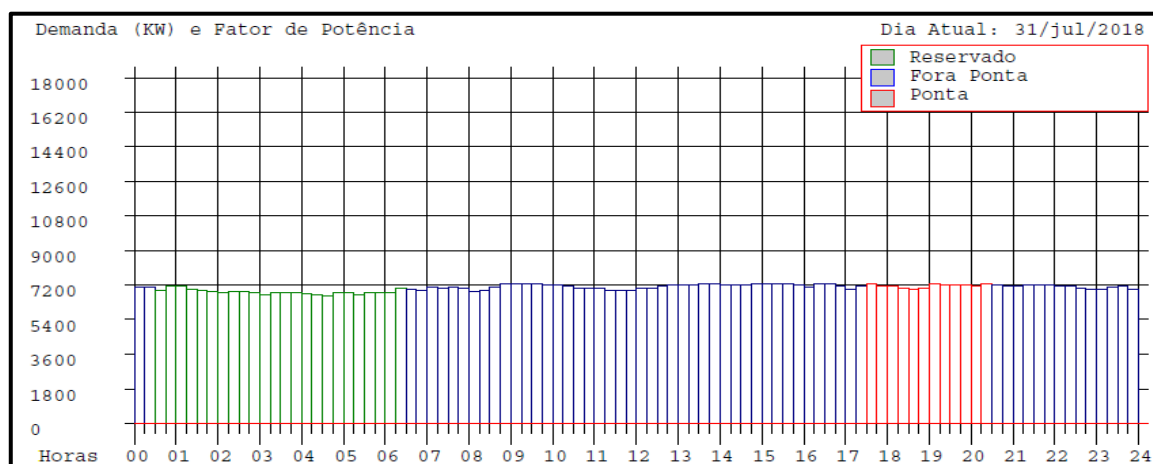
Figura 22 - Proposta completa de Cogeração Energia Elétrica e Produção de Água Quente
Fonte: VM (2018).

Uma caldeira de recuperação HRSG funcionará utilizando os gases de exaustão da turbina a gás, gerando vapor em um nível de pressão com queima suplementar e um sistema de queima independente com ventiladores para ar de combustão.

Dados Energéticos (Elétricos): A tabela 2, apresenta a demanda de energia elétrica para o Galpão de Pintura demonstra a média de aproximadamente 9000 kW,

onde as barras na cor azul representam o horário fora de ponta e barras na cor vermelha o horário de ponta.

Tabela 2 - Energia elétrica.



Fonte: Adaptado de VM (2018).

- Demanda contratada: 9 MW
- Consumo Elétrico anual: 58.181 MWh
- Consumo de ponta: 7757.5 MWh
- Consumo fora de ponta: 50.423,5 MWh
- Tarifa Energia (Mercado livre) = R\$ 250/MWh + TUSD: Eletropaulo A2

Após pesquisa, pode-se demonstrar algumas informações para Energias Convencional x Cogeração, operacionais para energia elétrica com a cogeração, e apresentar a economia com a geração de água quente para o processo R\$ 14 milhões, gerando uma economia operacional de 10%, conforme tabela 3.

Tabela 3 - Custo energia elétrica.

CUSTO OPERACIONAL	CONVENCIONAL	COGERAÇÃO
Custo anual total de energia elétrica	R\$92.375.714	R\$69.498.333
Custo anual de geração de energia elétrica	R\$0	R\$26.051.695
Custo anual de geração de água quente	R\$14.070.777	R\$0
CUSTO OPERACIONAL TOTAL	R\$106.446.491	R\$95.550.029
ECONOMIA OPERACIONAL	REFERÊNCIA	R\$10.896.462
		10%

Fonte: Adaptado de Andreos (2018).

Conforme demonstrado na tabela 4, o Balanço energético para melhor entendimento, onde, estamos considerando uma disponibilidade de 95% para funcionamento dos Turbogeneradores fornecendo energia elétrica para o processo e insumo térmica água quente.

Tabela 4 - Balanço energético.

Balanço Energético - Condições operacionais em São Paulo	
Disponibilidade	95%
CENTAUR 40	CENTAUR 40 2 x
Potência Elétrica Gerada	6.304 kW _e
Eficiência Elétrica	27,9%
Energia de entrada do Gás Natural	22.596 kW
PCI do Gás Natural	8.560 kcal/m ³
Vazão de Gás Natural	2.270,13 m ³ /h
Eficiência Térmica	58%
Potência Térmica Gerada	13.106 kW _t
Perdas	14%
Potência Térmica Perdida	3.186 kW _t
Potência Térmica Utilizada AQ	9.616 kW _t
Potência Térmica Não Utilizada	3.490 kW _t
Perdas totais	6.676 kW _t

Fonte: Adaptado de Andreos (2018).

Para a cogeração ser considerada qualificada, a mesma deve atender alguns requisitos definidos pela ANEEL, como segue na tabela 5.

Tabela 5 - Qualificação da cogeração.

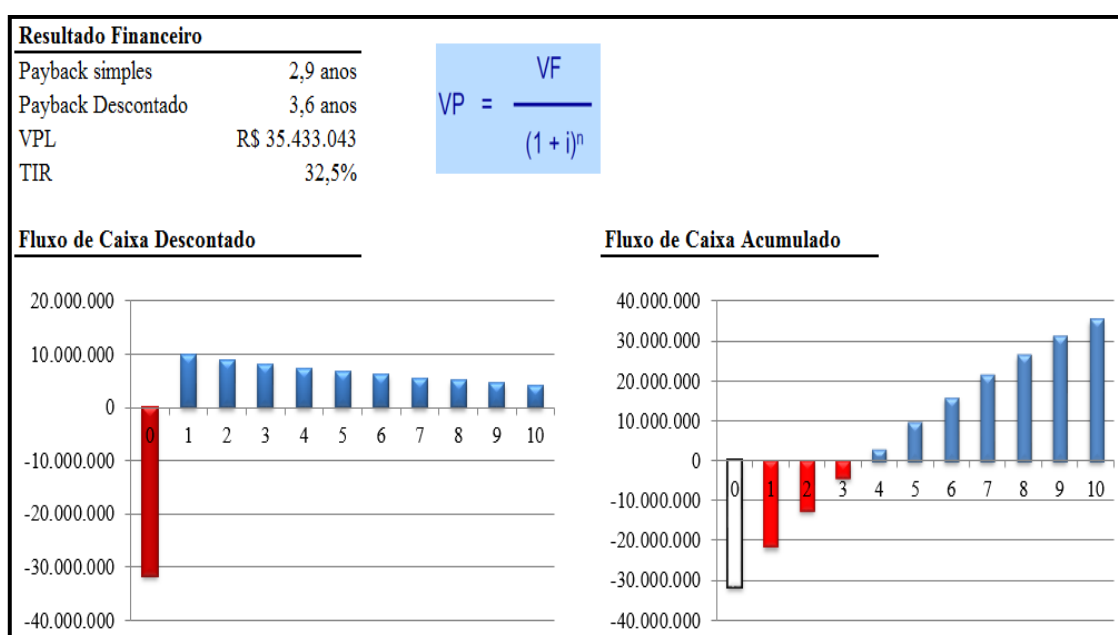
Cálculo requisito de qualificação da Cogeração - ANEEL Resol. nº 235 14/11/06					
E_f	22.596 kWh/h	$43\% = \frac{E_t}{E_f} \geq 15\%$	Cumpre	requisito (a)	
E_e	6.304 kWh/h				
E_t	9.616 kWh/h				
X	2,13	$48\% = \left(\frac{E_t}{E_f} \right) + X + \frac{E_e}{E_f} \geq F_c\%$	Cumpre	requisito (b)	
F_c	44%				
Cogeração Qualificada ANEEL					
Fator de Utilização de Energia - FUE					
W	6.304 kW	$FUE = \frac{\dot{W} + \dot{Q}_u}{\dot{Q}_{comb}} = 86\%$			
Q_u	13.106 kW				
Q_{comb}	22.596 kW				

Fonte: Adaptado de Andreos (2018).

Analisando a Qualificação para Cogeração quanto ao requisito (a) $\geq 15\%$, a equação da Energia cumpre com percentual de 43% e para o Fator de Cogeração $F_c \geq 44\%$ o requisito (b) cumpre com 48%. No tocante ao FUE (Fator de Utilização de Energia) o projeto se mostra plenamente viável com percentual de 86%.

Para analisar economicamente a planta de cogeração, foi considerado como resultado financeiro, para um período de 10 anos, onde os cálculos e os gráficos apresentam um Pay Back simples 2,9 anos e um Payback descontado 3,6 anos, conforme tabela 6.

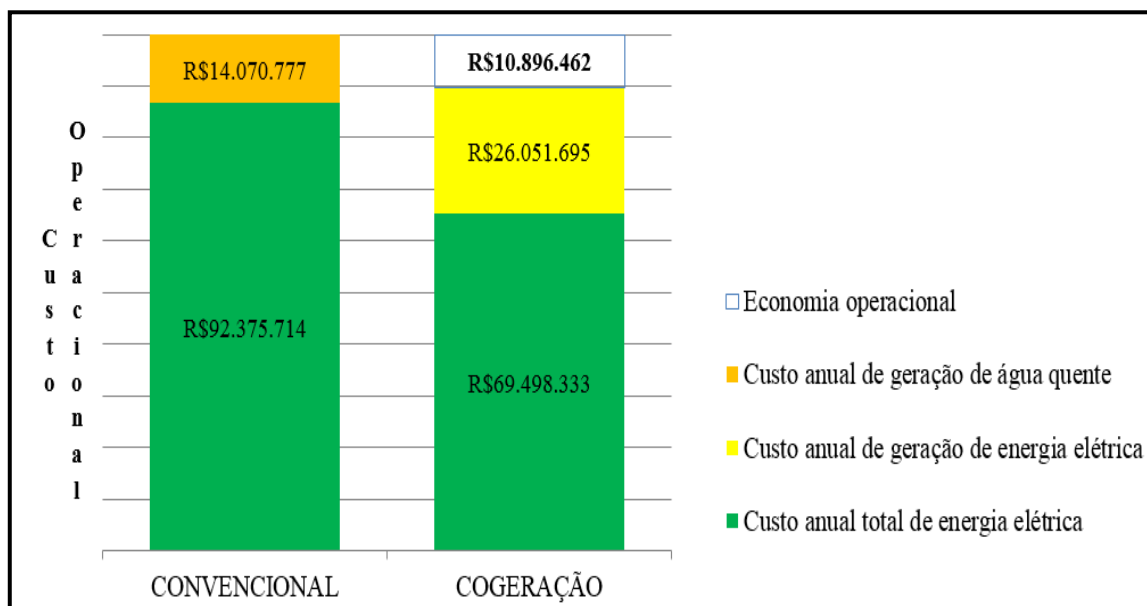
Tabela 6 - Análise econômica / viabilidade.



Fonte: Adaptado de Ronaldo Andreos (2018)

Observa-se no quadro de barras com os números e valores em reais. Pode-se verificar que na Coluna “Convencional” os gastos com energia elétrica Concessionária é de R\$ 92.375.714,00 somando ao custo para geração de água quente R\$14.070.777,00.

E na coluna “Cogeração” os geradores elétricos, acoplados as turbinas, produzirão energia no valor de R\$ 69.498.333,00, um custo anual de geração de energia elétrica de R\$ 26.051.695,00 e apresentando um custo evitado de R\$ 10.896.462,00, conforme tabela 7.

Tabela 7 - Resultado financeiro.

Fonte: Adaptado de Prof. Ronaldo Andreos (2018).

Em síntese, o objetivo maior desta ação é com certeza aumentar a produtividade e melhorando a competitividade com o comprometimento de todos os colaboradores com os negócios da organização.

6. CONCLUSÃO

Através dos estudos que a proposta Cogeração de Energias é necessária. O Galpão de Pintura da Empresa, com a produção dos insumos Elétricos e térmicos (água quente), sem o risco de oscilações é importantíssimo para viabilizar as propostas de investimentos internacionais, evitando custo de milhões com queimas de equipamentos eletrônicos, bem como, refugo de carrocerias nos processos.

Com o pré-tratamento (VBH) e KTL (Ecoat), robôs de vedação (Sealer) e Pintura (Base coat e Clear Coat), robôs para aplicações especiais (Paint Black Rocker) que perdem a programação devida queima da sua CPU (na maioria dos casos), muita das vezes no retorno da energia elétrica (pós-oscilação), considerando também, o fato de que na instalação existiu uma grande quantidade de equipamentos críticos no processo, tais como: acionamentos de motores (Soft starter e Inversores), módulos eletrônicos para robôs (KEBA), módulos eletrônicos de toda a espécie

Conclui-se que a planta de Cogeração de Energias para o processo, “é eficiente”, pois, conforme os cálculos apresentados, a planta de Cogeração nos oferecerá 95% de disponibilidade de Energia, com Fator de Utilização de Energia (FUE) de 86% e uma economia operacional anual de aproximadamente R\$ 11 milhões.

Com investimento inicial de aproximadamente R\$ 32 milhões e também considerando o período de 10 anos, chegamos a 2,9 anos Payback simples e 3,6 Payback descontado. Logo, a Cogeração de Energia Elétrica e Térmica (Água quente) para o Galpão de Pintura, é “viável, eficiente e confiável”, pois o tornará o processo (máquinas e equipamentos críticos) autossustentável.

Pode-se dizer que, o desafio da era atual, é o de se criar e gerir sociedades sustentáveis, a partir dos esforços da educação, sistemas de transportes, padrões de consumo e produção e principalmente da inovação tecnológica, pertinentes a proteção com o ambiente.

REFERÊNCIAS

ABRACE, Associação Brasileira de Grandes Consumidores. **Geração de energia**. Disponível em: <http://abrace.org.br>. Acesso em: 12 de mai. de 2018.

ANDREOS, R. Apontamentos de aula. **Tabelas**. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org>. Acesso em: 24 de out. de 2018.

ANEEL, **Atlas da energia elétrica do Brasil**. Brasília – 2008.

ANEEL - **Agência Nacional de Energia Elétrica**. - Módulo 7 e 8 PRODIST.

BALESTIERI, J.A.P. **Cogeração: geração combinada de eletricidade e calor**. Florianópolis: UFSC, 2002. 279 p.

BANDEIRA, F. de P. M. **Análise das alterações propostas para o modelo do setor elétrico brasileiro**. Brasília: Consultoria Legislativa, Estudo, 2003

BARBELI, M. C. **A cogeração de energia e sua importância do ponto de vista técnico, econômico e ambiental**. Empreendedorismo, Gestão e Negócios, v. 4, p. 238-246, 2015.

BURIN, T. S. **Supervisão e controle de sistema de cogeração de energia. Monografia**. (Graduação em Engenharia de Controle e Automação). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007.

BRASIL. GOVERNO FEDERAL. **PAC 8º Balanço: maio a agosto de 2009**: parte 3A. 2009. Disponível em: <http://www.pac.gov.br>. Acesso em: 11 de jun. 2018.

CAMARGO, R. L. **Reformas no setor elétrico: a burocracia nos processos de mudança**. In: CONGRESO INTERNACIONAL DEL CLAD SOBRE LA REFORMA DEL ESTADO Y DE LA ADMINISTRACIÓN PÚBLICA, 10., Santiago, Chile, Anais Eletrônicos, 2005.

COSTA, P. H. S; ATTIE, E, V. **Análise de projetos de investimento**. 4. ed. Rio de Janeiro: FGV, 2005

CLEMENTINO, L. D. **A conservação de energia por meio da cogeração de energia elétrica**. São Paulo: Érica, 2001.

D'ARAÚJO, R. P. **Setor elétrico brasileiro: uma aventura mercantil**. Brasília: Confea, 2009.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (Brasil). **Balanço Energético Nacional 2014: Ano base 2013**. – Rio de Janeiro: EPE, 2014.

ESPOSITO, A. S. **Contexto e panorama dos investimentos no setor elétrico brasileiro**. In: TORRES, Ernani; PUGA, Fernando; MEIRELLES, Beatriz (Org.). Perspectivas do investimento: 2010-2013. Rio de Janeiro: BNDES, 2010.

GEHLING, R. **Alternativas à matriz energética brasileira: o caso do biodiesel. Monografia**. (Graduação em Ciências Econômicas). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

GE Power Generation – 39th GE Turbine State of the Art Technologic

HIRSCHEFELD, H. **Engenharia econômica e análise de custos**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

HOJI, M. **Administração Financeira: uma Abordagem Prática**. São Paulo;. Atlas; 2000.

KALECKI, M. **Teoria da Dinâmica Econômica: ensaio sobre as mudanças cíclicas e ao longo prazo da economia capitalista**. [S. l.]: Victor Civita, 2012.

LEAL, M.R. **Cogeração na expansão: Estimativa do potencial de energia na expansão**. Opiniões –out/dez, p. 28-29, Ribeirão Preto, 2006.

LORA, E.E.S.; Geração termelétrica: planejamento, projeto e operação. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. 1296 p.

LOSEKANN, L. **Reestruturação do setor elétrico brasileiro: coordenação e concorrência**. 2003, 241 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

MARSHALL, A. **Princípios de Economia**: Tratado Introdutório. São Paulo: Abril Cultural, 2012.

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

PINHEIRO, K. F. **Gerenciamento de produtos químicos em unidades de geração de energia offshore**: Uma aplicação da metodologia seis sigma. 2003. 83p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003

PIRES, J. C. L. **Políticas Regulatórias no Setor de Energia Elétrica: A experiência dos Estados Unidos e da União Europeia**. Textos para Discussão: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, Rio de Janeiro, n. 73, p. 1-59, 2009.

RODRIGUES, L. A. **Análise institucional e regulatória da integração de energia elétrica entre o Brasil e os demais membros do Mercosul**. Dissertação (Mestrado). Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo: IEE-USP, 2012.

TEIXEIRA. M.A.; MILANEZ, L.F. **Caracterização energética do babaçu e análise do potencial de cogeração**. 2003. 198 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2003.

SITES:

<http://www.inee.org.br/>

<https://www.comgas.com.br/para-industria/cogeracao/>

<https://www.comgas.com.br/para-industria/geracao-de-energia-a-gas-natural/>

http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2006/003/documento/minuta_resolucao.pdf

<http://www.unionrhac.com.br/obra/rochavera-corporate-towers--sao-paulo-156/>