

JOÃO PEDRO OLIVEIRA FERNANDES

**PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA GESTÃO DE PRODUÇÃO,
VISANDO REDUÇÃO NO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA EM UMA
UNIDADE FABRIL DO SETOR DE BENS DE CONSUMO**

JOÃO PEDRO OLIVEIRA FERNANDES

**PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA GESTÃO DE PRODUÇÃO, VISANDO
REDUÇÃO DE CONSUMO NO ENERGIA ELÉTRICA EM UMA UNIDADE FABRIL
DO SETOR DE BENS DE CONSUMO**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Magalhães Sobrinho

F363p

Fernandes, João Pedro Oliveira

Proposta de metodologia para gestão de produção, visando redução no consumo de energia elétrica em uma unidade fabril do setor de bens de consumo / João Pedro Oliveira Fernandes – Guaratinguetá, 2015.

77 f. : il.

Bibliografia : f. 77

Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2015.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Magalhães Sobrinho

1. Energia elétrica -- Consumo 2. Energia elétrica -- Conservação 3. Administração da produção I. Título

CDU 620.92

João Pedro Oliveira Fernandes

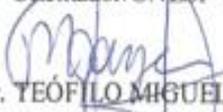
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA"

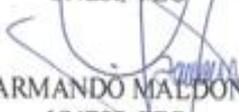
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Prof. Dr. LEONARDO MESQUITA
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. PEDRO MAGALHÃES SOBRINHO
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. TEÓFILO MIGUEL DE SOUZA
UNESP-FEG


Prof. Dr. OSCAR ARMANDO MALDONADO ASTORGA
UNESP-FEG

Dezembro de 2015

DADOS CURRICULARES

JOÃO PEDRO OLIVEIRA FERNANDES

NASCIMENTO	11.01.1991 – APARECIDA / SP
FILIAÇÃO	José Valdair Tavares Fernandes Eloisa de Fátima Oliveira Fernandes
2006/2008	Curso Técnico em Eletrônica - Colégio Técnico Industrial de Guaratinguetá
2011/2015	Curso de Graduação em Engenharia Elétrica - Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus de Guaratinguetá

de modo especial, à minha mãe, que sempre esteve ao meu lado, me incentivando, dando apoio nos momentos difíceis e dando toda a segurança necessária para que eu pudesse me dedicar ao curso de engenharia e conseguisse chegar onde cheguei.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, pela minha vida, minha inteligência, minha família e meus amigos,

à minha mãe, *Eloisa*, que me incentiva a cada momento a ser sempre uma pessoa melhor, seja pelo exemplo pessoal ou pela dedicação incondicional,

ao meu orientador, *Prof. Dr. Pedro Magalhães Sobrinho* pelo apoio e aconselhamento,

aos meus amigos e companheiros de estudo, *William, André, Robson, Carlos, César, José Geraldo, Adelvam e Lucas*, por estarem presentes ao longo deste cinco anos nos bons e maus momentos,

aos funcionários do Campus de Guaratinguetá, pela atenção, apoio e serviços prestados,

à AmBev, pela oportunidade de começar minha carreira profissional através do estágio na área de Energy & Fluids, e aos colegas de trabalho com os quais obtive um grande crescimento pessoal e profissional, *Fernando Lazzarini Fernando Palma, Anderson, Riva, Sardinha e Luiza*,

aos estagiários do Centro de Engenharia da AmBev, pela amizade, pela convivência e crescimento conjunto, *Marcos, Lucas, Allan, Guilherme, Luisa, Michelle, Juan, Tauana, Raquel e Leonardo*.

“É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem vitória, nem derrota.”

Theodore Roosevelt

“A persistência é o caminho do êxito.”

Charles Chaplin

FERNANDES, J. P. O. **Proposta de metodologia para gestão de produção, visando redução no consumo de energia elétrica em uma unidade fabril do setor de bens de consumo.** 2015. 77 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

RESUMO

Atualmente a eficiência energética vem ganhando cada vez mais espaço nas indústrias, seja pela busca da sustentabilidade, pela redução dos custos com energia elétrica, pelo atingimento de metas ou pela efficientização dos processos produtivos. Em indústrias de bens de consumo, como por exemplo uma indústria de bebidas, como a que o trabalho se baseia, a produtividade está diretamente relacionada com o consumo de energia elétrica, sendo de grande importância o desenvolvimento de metodologias e/ou rotinas, além do uso de ferramentas que possibilitem alinhar de maneira eficiente, do ponto de vista da "Conservação de Energia", estes dois aspectos: produção e consumo de energia elétrica. Dentro deste cenário, este estudo de caso mostra os conceitos de Modulação Fabril, uma metodologia de gestão da produção, que se baseia em diversos fatores relacionados ao processo produtivo, equipamentos instalados, insumos de produção e custo da energia. A metodologia proposta foi implantada em uma unidade fabril ao longo do ano de 2015 e apresenta os resultados obtidos, confirmando a eficiência do uso de tal metodologia. Por fim, através deste estudo, foi amostrado o quanto a metodologia de Modulação Fabril tem capacidade de impactar positivamente na eficiência energética dentro de uma indústria de grande porte.

PALAVRAS-CHAVE: Eficiência Energética. Modulação Fabril. Indústria de Bebidas.

FERNANDES, J. P. O. **Methodology proposal to manage the production, aiming to reduce the electrical energy consumption in a plant of a consumer goods industry.** 2015. 77 p. Graduate Work (Graduate in Electrical Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

ABSTRACT

Actually the energy efficiency is making more space in the industry, due to the search for the sustainability, the electrical energy costs reduction, the goals achievement or the efficiency of production processes. In consumer goods industries, such a beverage industry, as the work is based, the productivity is directly related to the electrical energy consumption. The development of methodologies and/or routines, in addition to some tools which allow to align more efficiently these two aspects (production and consumption of electrical energy), in the viewpoint of the "Energy Conservation", is very important. In this case, the study will show the Plant Modulation concepts, a production management methodology, based in some factors related to the productive process, installed equipment, production supplies and energy cost. The proposed methodology was implanted in a plant along 2015 and show the results, in face to confirm its efficiency. Finally, in this study, it was shown the capacity of Plant Modulation to positively impact in the energy efficiency inside a big industry.

KEYWORDS: Energy Efficiency. Plant Modulation. Beverage Industry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processos de conversão de energia	21
Figura 2 – Esquema de um sistema energético simples.....	23
Figura 3 – Selo Procel.....	29
Figura 4 – Fluxograma do processo da unidade fabril em estudo	31
Figura 5 – Área das Adegas e prédio da Brassagem.....	33
Figura 6 – Área de Packaging	34
Figura 7 – Estação de Tratamento de Efluentes Industriais (ETEI)	35
Figura 8 – Sistema de refrigeração a base de amônia (NH ₃).....	38
Figura 9 – Ciclo PDCA	42
Figura 10 – Tipos de Modulação Fabril.....	43
Figura 11 – Identificação de um Equipamento no Programa de Água e Energia	45
Figura 12 – Arraste de óleo no sistema de frio, medidor de pressão contaminado	72
Figura 13 – Iluminação no exterior do galpão de utilidades ligada durante o dia.....	73
Figura 14 – Iluminação em área de pouco movimento ligada durante o dia	73
Figura 15 – Iluminação na área de adegas ligada durante o dia	74

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Variação do preço do kWh (2015)	40
Gráfico 2 – Perfil de consumo e performance de Energia Elétrica (2014)	40
Gráfico 3 – Relação consumo EE x Volume antes do início do acompanhamento	65
Gráfico 4 – Índices de Pressão do Sistema Frio	67
Gráfico 5 – Índices de Verificação da área de adegas	68
Gráfico 6 – Relação Consumo EE x Volume após o início da Modulação Fabril	68
Gráfico 7 – Perfil de consumo e performance de Energia Elétrica (2015)	69
Gráfico 8 – Performance com e sem Modulação Fabril	70

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Plano de ação da área de utilidades	71
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Eficiência de sistemas de conversão de energia	22
Tabela 2 – Classificação dos consumidores	26
Tabela 3 – Divisão do consumo de energia elétrica em uma cervejaria	46
Tabela 4 – Consumo diário dos equipamentos no Processo	47
Tabela 5 – Consumo diário das linhas de Packaging.....	50
Tabela 6 – Consumo diário dos equipamentos da área de Utilidades	54
Tabela 7 – Unidade fabril em estudo antes do início do acompanhamento	63
Tabela 8 – Unidade fabril em estudo após o início do acompanhamento	66

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS.....	18
2	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, SUA IMPORTÂNCIA NAS INDÚSTRIAS E AS CONSEQUÊNCIAS PARA A SOCIEDADE	19
2.1	CONCEITOS DE ENERGIA.....	19
2.2	CONVERSÃO E CONSERVAÇÃO DE ENERGIA.....	20
2.3	TERMINOLOGIA ASSOCIADA À ENERGIA ELÉTRICA	22
2.4	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	26
2.4.1	Conceitos	26
2.4.2	Aspectos socioeconômicos e ambientais	27
2.4.3	Programas de Eficiência Energética	28
2.4.4	Eficiência Energética nas Indústrias	29
3	METODOLOGIA PARA GESTÃO DA PRODUÇÃO VISANDO A REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA	31
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE FABRIL EM ESTUDO	31
3.1.1	Área de Processo (Brassagem, adegas e filtração)	32
3.1.2	Packaging	33
3.1.3	ETA e ETEI	34
3.1.4	Logística	35
3.1.5	Utilidades	36
3.2	MODULAÇÃO FABRIL	38
3.2.1	Definição: O que é Modulação Fabril?	38
3.2.2	Vantagens da aplicação da metodologia de modulação fabril	39
3.2.3	Ciclo PDCA	41
3.2.4	Tipos de Modulação Fabril	42
3.2.5	Níveis de Metodologia para Modulação Fabril	43
3.2.6	Programa de Água e Energia	44
3.3	PROTOCOLO DE MODULAÇÃO FABRIL	45
3.3.1	Protocolo no Processo (Brassagem, Filtração e Adegas)	46
3.3.1.1	Consumo de Energia Elétrica no Processo	46
3.3.1.2	Boas Práticas Operacionais no Processo.....	47
3.3.2	Protocolo no Packaging	49

3.3.2.1	Consumo de Energia Elétrica no Packaging	49
3.3.2.2	Boas Práticas Operacionais no Packaging	50
3.3.3	Protocolo na ETA e ETEI	51
3.3.3.1	Consumo de Energia Elétrica na ETA e ETEI.....	51
3.3.3.2	Boas Práticas Operacionais na ETA e ETEI.....	51
3.3.4	Protocolo na Logística/Iluminação	52
3.3.4.1	Consumo de Energia Elétrica na Logística/Iluminação.....	52
3.3.4.2	Boas Práticas Operacionais na Logística/Iluminação.....	52
3.3.5	Protocolo na Utilidades	54
3.3.5.1	Consumo de Energia Elétrica na Utilidades.....	54
3.3.5.2	Boas Práticas Operacionais na Utilidades.....	54
3.4	ÍNDICES DE VERIFICAÇÃO DE MODULAÇÃO FABRIL - ENERGIA ELÉTRICA	57
3.4.1	Pressão de Sucção	57
3.4.2	Delta de Pressão de Descarga	57
3.4.3	Tempo de Maturação e Fermentação	58
3.4.4	Taxa de Ocupação de Adegas	60
4	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA NA UNIDADE FABRIL EM ESTUDO, RESULTADOS E APRENDIZADOS	62
4.1	CENÁRIO DA UNIDADE FABRIL ANTES DO INÍCIO DO ACOMPANHAMENTO.....	63
4.2	CENÁRIO DA UNIDADE FABRIL APÓS O INÍCIO DO ACOMPANHAMENTO.....	65
4.3	PLANOS DE AÇÃO E TREINAMENTO NO PROTOCOLO DE MODULAÇÃO FABRIL	70
5	CONCLUSÕES	75
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77

1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da humanidade, ferramentas são desenvolvidas com o objetivo de facilitar tarefas do dia-a-dia, auxiliar na sobrevivência e prover um maior conforto às pessoas. Sejam essas ferramentas voltadas para o trabalho ou para o lazer, a evolução da tecnologia em paralelo com a evolução da capacidade humana, tem feito tarefas complexas e demoradas serem simplificadas e facilitadas. O uso dos recursos tecnológicos promoveu uma libertação de trabalhos penosos, tornando os esforços mais produtivos. Logo, toda essa evolução tecnológica está intimamente ligada ao uso da energia (PEREIRA, 2009).

A energia é melhor descrita pelo que pode fazer, pois não podemos vê-la, apenas visualizar seus efeitos. A energia não pode ser criada, apenas usada e transformada, nem tampouco destruída, apenas desperdiçada ou usada de maneira inadequada. A energia não é valorizada por si própria, mas sim pelo que pode ser feito com ela. Pode-se dizer que a energia é um dos principais constituintes da sociedade, sendo um aspecto importante relacionado ao trabalho, economia, moradia, alimentação, saúde, transporte, etc. Ela é necessária para a produção de bens de consumo, para a utilização dos recursos naturais e para fornecer a maioria dos serviços existentes e que beneficiam grande parte da população mundial. Portanto o desenvolvimento econômico e a mudança nos padrões de vida são processos que compartilham o mesmo problema: a disponibilidade e um abastecimento adequado e confiável de energia (HINRICHS; KLEINBACH; REIS, 2011).

O uso da energia vem fazendo surgir discussões do ponto de vista sustentável. Pela primeira vez na história, começa-se a pensar que o uso indiscriminado da energia e, por consequência dos recursos naturais que a provem, pode fazer com que em um certo momento, não haja mais energia suficiente para atender toda a demanda. Diante deste cenário, ficou clara a necessidade de se utilizar de maneira mais eficiente as fontes de energia, tendo em vista os cuidados com o meio ambiente. Sendo assim, iniciou-se uma corrente de estudos, pesquisas e desenvolvimento de tecnologias, voltados para a descoberta e uso de fontes de energia alternativas e também voltados para a eficiência energética de equipamentos e processos (HINRICHS; KLEINBACH; REIS, 2011).

Uma vez que a gestão dos recursos energéticos se tornou um grande desafio a ser enfrentado pela sociedade a nível mundial, e que a utilização indiscriminada de energia gerada a partir de recursos de origem fóssil se tornou a grande marca do desenvolvimento econômico das últimas décadas, tendo em vista que estes recursos naturais possuem natureza

finita e geram um grande impacto ambiental com sua produção e consumo, chegou-se em um patamar onde o mundo entrou em alerta para a necessidade de mudanças relacionadas a este modelo de desenvolvimento (TASSINI, 2012).

No setor industrial, o conceito de eficiência energética é recente. Antigamente indústrias e fábricas não tinham preocupação com esta questão pelo fato da energia ser mais barata e não existir uma consciência com relação ao consumo (MENDES, 2014). A mudança deste comportamento se iniciou juntamente com a globalização, que mostrou a interdependência de fatores como o acesso à energia e a sua utilização, o desenvolvimento econômico, as preocupações ambientais, o combate à pobreza, o desenvolvimento de novas tecnologias, entre outros. No passado, estes fatores eram considerados, e por consequência, estudados, de maneira independente, diminuindo o impacto que podem causar na eficiência energética (TASSINI, 2012).

Atualmente, a energia já vem fazendo parte dos custos a serem gerenciados, uma vez que seu grau de importância tende a crescer sempre alinhado ao conceito de redução dos custos de produção, à sua disponibilidade no mercado de energia e ao próprio mercado consumidor, que passa cada vez mais a exigir produtos ambiental e economicamente sustentáveis. Este comportamento empresarial se mostra como uma grande estratégia de mercado que enriquece o marketing, uma vez que valoriza a imagem da empresa e mostra que existe uma preocupação com o futuro, o que implica diretamente em ganho de competitividade e crescimento dos resultados (MENDES, 2014).

Tamanho é a importância da energia no desenvolvimento econômico e social de um país, que o Programa Nacional de Conservação de Energia (PROCEL), foi criado em conjunto pelos ministérios de Minas e Energia (MME) e da Indústria e Comércio (Conpet) e pela Eletrobrás, com o objetivo de promover a racionalização da geração e do consumo da energia elétrica para que se elimine o desperdício e se reduzam os custos e investimentos setoriais (PROCEL, 2015).

A proposta deste trabalho, tem como objetivo mostrar a implementação dos conceitos e itens relacionados à Modulação Fabril de modo a reduzir o consumo de energia elétrica na unidade fabril em estudo, através do ganho em eficiência energética no período de baixa demanda (período seco), onde a redução na produção aliada ao consumo fixo inerente a unidade fabril e ao custo elevado da energia elétrica tendem a tornar o processo ineficiente do ponto de vista energético.

A metodologia consiste em um primeiro momento, na análise do processo produtivo como um todo, dividido por áreas, e entender quais são as fontes de consumo de energia elétrica

em cada uma delas. Em seguida deve-se alinhar a produção da unidade fabril com a previsão de produção, com o objetivo de programar todo o processo produtivo, etapa por etapa, sem que haja desperdício de insumos e energia. Paralelamente, são propostas boas práticas operacionais que devem ser incluídas na rotina de todas as áreas de modo a otimizar o uso de equipamentos e o processo produtivo em si, e também, são acompanhados alguns índices de verificação de Modulação Fabril, voltados para a redução do consumo de energia elétrica. Por fim a aplicação deve ser analisada e acompanhada de modo a compreender as lacunas existentes no processo e identificar possíveis problemas que possam gerar melhorias e ganho em eficiência.

O foco da aplicação da metodologia será na área de utilidades, maior consumidora de energia elétrica da unidade fabril, especificamente no sistema de refrigeração.

A refrigeração pode ser definida como o processo de remover calor de um corpo ou sistema (MENDES, 2014).

Em outras palavras, é o processo em que ocorre troca contínua de energia térmica entre dois corpos ou ambientes, considerando os processos em que as reduções de temperatura sejam inferiores a temperatura do ambiente. Os sistemas de refrigeração são utilizados principalmente para conservar produtos, viabilizar processos e climatizar ambientes de maneira a propiciar conforto. O calor é transferido do corpo mais quente para o mais frio, através de radiação, condução e/ou convecção, sendo os dois últimos predominantes em dispositivos de refrigeração (TASSINI, 2012).

Nas indústrias, os sistemas de refrigeração passam grande parte do tempo operando fora dos padrões técnicos, devido ao fato de serem projetados para atender todo o processo de forma simultânea. Este inconveniente deve ser um dos principais itens a serem levados em consideração nos períodos de baixa demanda, os quais a metodologia proposta objetiva otimizar.

O presente trabalho está estruturado em cinco capítulos, tendo início neste capítulo inicial que trás uma introdução ao tema. No Capítulo 2, é realizada uma revisão bibliográfica a respeito dos conceitos de energia, conversão e conservação de energia, terminologia associada à energia elétrica, e eficiência energética.

No Capítulo 3, é feita a caracterização da unidade fabril em estudo, uma cervejaria, além de serem apresentados os conceitos relacionados à metodologia de Modulação Fabril, levantamento do consumo de energia elétrica em cada área do processo, apresentação das boas práticas operacionais e índices de verificação de Modulação Fabril.

No Capítulo 4 será mostrada a aplicação da metodologia na unidade fabril, explicitando o cenário antes e depois da modulação, os resultados e a proposta de plano de ação para cumprimento das boas práticas operacionais.

No Capítulo 5 será realizada a conclusão do trabalho apresentado.

1.1 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo mostrar a aplicação de uma metodologia de Modulação Fabril em uma unidade fabril do setor de bens de consumo, uma cervejaria, bem como desenvolver os conceitos associados à mesma e observar na prática os resultados do acompanhamento dos Índices de Verificação de Modulação Fabril, das ações previstas no Protocolo de Modulação Fabril, bem como desenvolver um plano de ação específico para a área de utilidades com o objetivo de alinhar as operações com as boas práticas operacionais.

2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, SUA IMPORTÂNCIA NAS INDÚSTRIAS E AS CONSEQUÊNCIAS PARA A SOCIEDADE

De acordo com TASSINI (2012), o estudo da eficiência energética em uma indústria de bebidas, como uma cervejaria, prevê ações que podem ser aplicadas nas diversas áreas da mesma, não apenas no sistema de refrigeração, bem como no sistema de ar comprimido, bombeamento e uso de água, sistema de geração de vapor, cogeração, iluminação, entre outros.

MENDES (2014), reforça que em uma indústria de bebidas, o sistema de refrigeração é o principal consumidor de energia elétrica, pois sua importância vai além da conservação do produto, estando, neste caso, presente em todo o processo.

SOLA e KOVALESKI (2004), realizaram estudos em alguns segmentos da indústria, incluindo a produção de bebidas, através de questionamento de temas como a conscientização associada à eficiência energética, gestão de energia e a recente política de uso de equipamentos com tecnologias energeticamente eficientes, e afirmam que a cultura de eficiência energética nas indústrias, só é fixada com uma política eficiente e trabalho permanente.

Ainda no âmbito industrial, com a difusão da importância da sustentabilidade dos sistemas energéticos e sobretudo com a elevação do preço da energia, emergiu a necessidade do uso racional da energia. Desde então a eficiência energética é tratada como um recurso energético adicional, mostrando maior economia do que outras alternativas disponíveis na maioria dos casos (ELEKTRO, 2012).

O Procel Educação em parceria com a Eletrobrás, diz que no aspecto socioeconômico, ao economizarmos energia estamos adiando a necessidade de construção de novas usinas de geração de energia e de seus sistemas elétricos associados, permitindo que estes recursos sejam direcionados para outras áreas e contribuindo para a preservação do meio ambiente. Deste modo, a conservação de energia no âmbito socioeconômico, se apoia na mudança de hábitos e na eficiência energética (PROCEL EDUCAÇÃO, 2006).

2.1 CONCEITOS DE ENERGIA

A energia faz parte do cotidiano e da vida das pessoas das mais diversas formas, como por exemplo, ao dirigir um carro, ao realizar exercícios físicos, no preparo de alimentos e na

alimentação em si e nos equipamentos que fazem parte de grande parte dos lares hoje em dia (televisores, geladeira, aparelhos de ar condicionado, etc). Devido a essa diversidade, os campos de estudo de energia são extremamente vastos, partindo do uso racional dos recursos naturais até o desenvolvimento e utilização de tecnologias de ponta, além do lado social da energia, que envolve os aspectos socioeconômicos e socioambientais, o histórico da energia e as perspectivas futuras para a mesma (ELEKTRO, 2012).

Para Aristóteles (Metafísica, Séc. IV A.C.), energia é "uma realidade em movimento", algo muito parecido com o conceito mais atual de energia que diz que "energia é a medida da capacidade de efetuar trabalho" (ELEKTRO, 2012). Este conceito não está totalmente correto, uma vez que apenas algumas formas de energia podem ser, de fato, convertidas totalmente em trabalho ou outras formas de energia (por exemplo, energia mecânica e elétrica), enquanto o calor, por exemplo, só é parcialmente convertido em trabalho, gerando muitas perdas.

Já no século XIX, Maxwell (1872) propôs uma definição para o conceito de energia que se aproxima mais da realidade, se referindo a mudanças de condições (alterações de estado) em um sistema como a capacidade em vencer a resistência deste estado, utilizando para isso a energia, ou seja, "energia é aquilo que permite uma mudança na configuração de um sistema, em oposição à uma força que resiste à esta mudança" (PROCEL EDUCAÇÃO, 2006).

2.2 CONVERSÃO E CONSERVAÇÃO DE ENERGIA

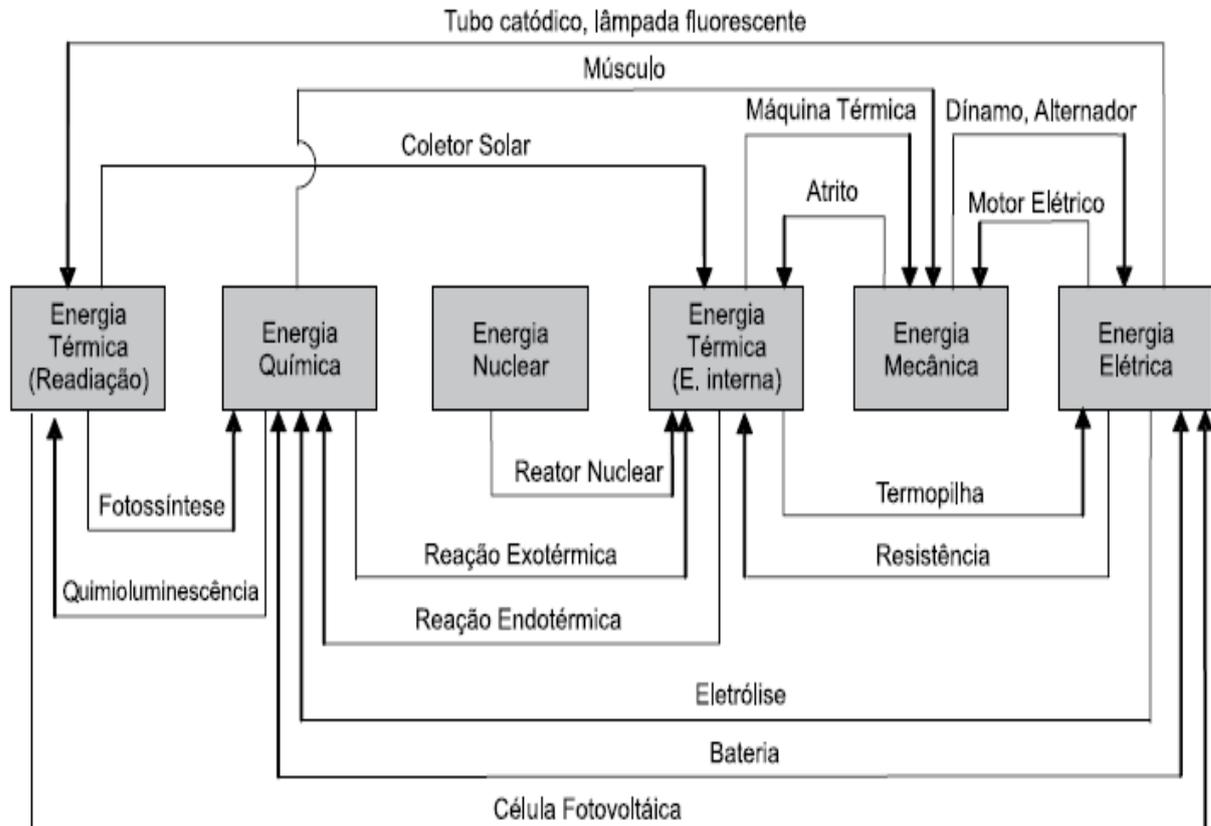
Uma das principais características de sistemas e processos energéticos é a capacidade de interconversão, ou seja, uma forma energética pode ser convertida em outra, espontaneamente ou de maneira induzida, atendendo alguma necessidade específica (PROCEL EDUCAÇÃO, 2006).

Existem diversos exemplos de conversão de energia, como:

- Usina Hidrelétrica - converte a energia mecânica da água em energia elétrica;
- Pilhas e Baterias - convertem a energia química em energia elétrica;
- Motor a Combustão - converte a energia química do combustível em energia mecânica;

A Figura 1 mostra os diversos tipos de energia e alguns exemplos de conversão entre estas formas de energia.

Figura 1 - Processos de conversão de energia



Fonte: PROCEL EDUCAÇÃO, 2006

Os conceitos de conversão e conservação de energia se misturam em certo ponto. As definições mais comuns de conservação de energia dizem que *"a quantidade total de energia em um sistema isolado sempre permanecerá constante"*, e quando se associa com os conceitos de conversão de energia, *"a energia dentro de um sistema é igual à energia que sai dele mais a energia que ele armazena"* (HINRICHS, KLEINBACH, REIS, 2011).

Um outro aspecto importante da conservação de energia, diz respeito à eficiência deste processo, uma vez que a produção de energia útil será menor que a entrada de energia mesmo que haja conservação. Logo, a eficiência de um processo de conversão de energia é definida como:

$$\eta = \frac{E_{\text{útil}}}{E_{\text{entrada}}} \times 100\% \quad (1)$$

A energia de entrada que não se transforma em energia útil é perdida de formas não utilizáveis, como perdas térmicas.

Em processos que envolvem diversas etapas, como a geração, transmissão, distribuição e uso da energia elétrica por um consumidor residencial, a eficiência geral ou total do processo, envolve a multiplicação das eficiências individuais de cada etapa.

Por exemplo, em uma usina de geração de energia elétrica com 35% de eficiência, e supondo a eficiência da transmissão e distribuição como sendo de 90% e a eficiência da iluminação de uma residência sendo de 20%, a eficiência total do processo é de 6,3%.

A Tabela 1 mostra a eficiência de outros processos de conversão de energia.

Tabela 1 - Eficiência de sistemas de conversão de energia

Eficiência de sistemas de conversão de energia		
Sistema	Conversão de Energia	Eficiência
Geradores Elétricos	mecânica - elétrica	70-99%
Motor Elétrico	elétrica - mecânica	50-95%
Fornalha a Gás	química - térmica	70-95%
Turbina Eólica	mecânica - elétrica	35-50%
Lâmpada Incandescente	elétrica - luminosa	5%
Lâmpada Fluorescente	elétrica - luminosa	20%
Lâmpada LED	elétrica - luminosa	60%
Célula a combustível	química - elétrica	40-60%
Célula Solar	luminosa - elétrica	5-28%
Motor de automóvel	química - térmica - mecânica	20-30%
Usina Nuclear	nuclear - térmica - mecânica - elétrica	30-35%

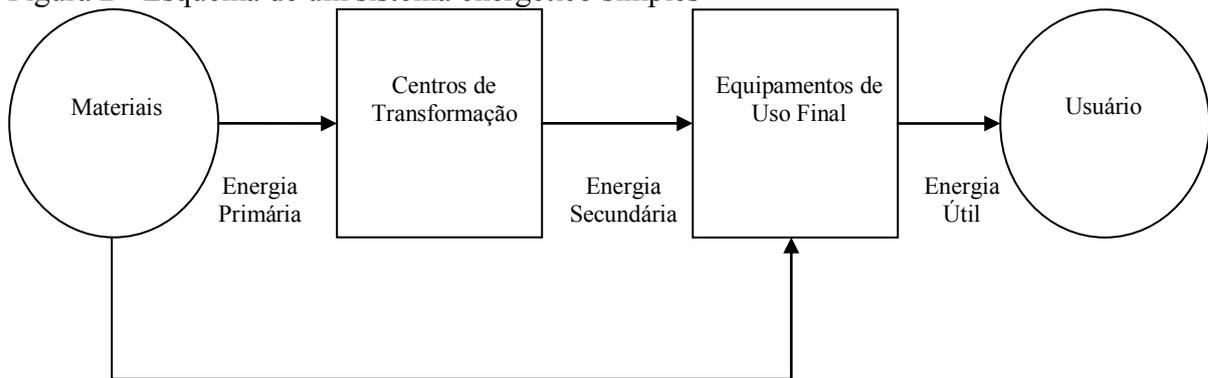
Fonte: HINRICHS, KLEINBACH, REIS, 2011 (adaptado)

2.3 TERMINOLOGIA ASSOCIADA À ENERGIA ELÉTRICA

Primeiramente, o estudo de sistemas e processos energéticos, requer o uso de linguagem e terminologia específica, que devem ser apresentados e bem definidos de forma a facilitar o entendimento dos conceitos associados, como mostra a Figura 2.

Posteriormente serão apresentadas as principais terminologias associadas à energia elétrica, que serão citadas ao longo deste trabalho.

Figura 2 - Esquema de um sistema energético simples



Fonte: ELEKTRO, 2012 (adaptado)

As atividades humanas requerem energia, seja na forma de *energia direta*, que são fluxos físicos de energia como calor e energia elétrica, ou na forma de *energia indireta*, que representa a demanda energética necessária para a produção e atendimento de bens e serviços. A energia incorporada aos bens e serviços leva em consideração toda a energia envolvida desde o seu processo de construção até o seu descarte final.

É importante também, entender o conceito de *energia primária*, que envolve toda a energia proveniente da natureza, de recursos fósseis ou naturais, usada diretamente ou convertida antes do uso; de *energia secundária*, que corresponde a energia resultante dos processos de conversão, com objetivo de facilitar seu transporte e armazenamento e adequá-la ao uso final, podendo esta energia ser novamente convertida em outros tipos de energia secundária; e por fim, *energia útil*, que corresponde à energia que é efetivamente utilizada pelo usuário final, processo ou sistema.

Como o estudo se baseia na energia elétrica, é de extrema importância que sejam apresentados e definidos os termos mais comuns e utilizados neste aspecto.

Entende-se como *Concessionária*, a empresa ou órgão responsável pela concessão e/ou permissão para prestar serviços públicos e/ou privados de energia elétrica para os consumidores. Exemplos: Light Serviços de Eletricidade S.A. (Light), Energias de Portugal S.A. (EDP), Eletropaulo Metropolitana Eletricidade de São Paulo S.A. (AES), etc.

Os *consumidor* consiste na pessoa, física ou jurídica, que solicita à concessionária o fornecimento de energia elétrica e assume a responsabilidade pelo pagamento da fatura de energia elétrica e pelas demais obrigações vigentes em contrato e controladas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

As *faturas de energia elétrica*, são os documentos fiscais de cobrança pelo uso da energia elétrica. Trazem uma descrição detalhada do consumo e demanda, tarifas aplicadas,

período de medição (normalmente o período é mensal), impostos aplicados, multas e os demais itens de identificação do consumidor.

Quando se fala em energia elétrica, os termos consumo e demanda são frequentemente utilizados, porém poucas pessoas sabem a diferença entre eles. *Consumo* nada mais é do que a energia consumida de fato ao longo do período de medição, cuja unidade é o kWh ou MWh. *Demanda* pode ser entendida como a carga instalada, a potência que será requerida e que a concessionária deve atender, cuja unidade é o kW ou MW, sendo que o consumidor contrata um determinado valor de demanda que atenda suas necessidades.

O consumo pode ocorrer em dois diferentes períodos do dia, chamados de *Horário de Ponta (HP)*, ou horário de pico, que consiste em um período definido pela concessionária que abrange três horas consecutivas em dias úteis, normalmente entre as 18 horas e 21 horas, onde o consumo é mais elevado, e por isso, muitas vezes, as tarifas são maiores; e *Horário Fora de Ponta (HFP)*, que abrange todas as horas restantes que não estão no horário de ponta.

Entre as tarifas existentes, estão a *Tarifa Convencional*, que basicamente se aplica exclusivamente ao consumo de energia elétrica, como por exemplo nas residências, e a cobrança é feita pelo consumo total em R\$/kWh; a *Tarifa Horo-Sazonal*, que se caracteriza por aplicar tarifas diferenciadas de consumo e demanda, levando em consideração horas do dia, dia da semana e período do ano, e a cobrança é feita pelo consumo total em R\$/kWh e pela demanda contratada em R\$/kW; e as *Tarifas Azul e Verde*, que basicamente compõem a Tarifa Horo-Sazonal, com a diferença que a tarifa azul aplica tarifas diferenciadas para consumo e demanda e a tarifa verde possui uma tarifa fixa para demanda contratada independente do horário do dia ou período do ano; e por fim a *Tarifa de Ultrapassagem*, que pode ser entendida como uma multa, aplicada quando os valores registrados ultrapassam os valores contratados, tanto para demanda quanto para o consumo.

Entre as tarifas de ultrapassagem, uma das mais importantes faz referência ao consumo de energia reativa excedente, decorrente de um baixo fator de potência (FP).

Antes de definir o FP, é importante conhecer os tipos de potência envolvidos em energia elétrica.

Existem três tipos de potência, a *Potência Aparente (S)*, medida em volt-ampère (VA), que é a potência que a concessionária deve disponibilizar para o consumidor a fim de atender a demanda do mesmo, indicada pela *Potência Ativa (P)*, medida em watts (W), que é a potência que efetivamente contribui para o consumo.

A *Potência Reativa (Q)*, medida em volt-ampère reativo (VAr), é a parcela que resulta da diferença entre o que a concessionária disponibiliza e o que o consumidor de fato utiliza (equação 2), decorrente de um FP diferente de 1 (um).

O *Fator de potência*, é a relação entre as potências P e S ($FP = P/S$), ou matematicamente, $FP = \cos\varphi$, onde φ é o ângulo formado entre as potências P e S.

$$Q^2 = S^2 - P^2 \quad (2)$$

A ANEEL estabelece que o FP deve estar o mais próximo possível da unidade (1,00), de modo que foi estabelecido um novo limite de referência para o FP, como forma de controle e avaliação tanto dos consumidores quanto da concessionária, passando a existir o faturamento por consumo de energia reativa excedente.

Este novo limite define um mínimo de 0,92 para o FP, tanto indutivo (entre 6h e 0h) quanto capacitivo (entre 0h e 6h), e o período de medição, ou avaliação, do mesmo passou a ser horário e não mensal como era feito antigamente.

As tarifas também podem ser ajustadas de acordo com o período do ano, como citado anteriormente, sendo dois os períodos em questão, *Período Úmido (PU)*, que engloba o fornecimento entre os meses de Dezembro de um ano até Abril do ano seguinte; e o *Período Seco (PS)*, que engloba o fornecimento de Maio até Novembro.

O período seco é o principal foco da aplicação da metodologia de Modulação Fabril, pois é o período em que a energia elétrica está mais cara, resultado da escassez de recursos hídricos inerentes do período, que torna o processo de geração mais custoso, e também por ser o período em que a demanda pelo produto foco (cerveja) é menor.

A partir de 2015, as faturas de energia elétrica passaram a indicar o *Sistema de Bandeiras Tarifárias*, que indica se energia custa mais ou menos dependendo das condições dos reservatórios e da geração de eletricidade.

Este sistema possui três bandeiras, sendo a *Bandeira Verde* o indicador de que as condições de geração de energia elétrica são favoráveis e a tarifa não sofre nenhum acréscimo; a *Bandeira Amarela* o indicador de que as condições estão menos favoráveis, e existe um acréscimo de R\$ 0,025 para cada kWh consumido; e a *Bandeira Vermelha* o indicador de condições desfavoráveis e geração mais custosa, e existe um acréscimo de R\$ 0,045 para cada kWh consumido (ANEEL).

Existe ainda uma classificação dos consumidores de acordo com a capacidade instalada. A ANEEL define dois grupos de classificação, A e B, que são divididos em subgrupos de acordo com a faixa de tensão ou tipo de consumidor, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação dos consumidores

Classificação dos consumidores		
Grupo	Subgrupo	Descrição
A	A1	nível de tensão > 230 kV
	A2	nível de tensão de 88 a 138 kV
	A3	nível de tensão de 69 kV
	A3a	nível de tensão de 30 a 44 kV
	A4	nível de tensão de 2,3 a 25 kV
	AS	sistema subterrâneo
B	B1	residencial e residencial baixa renda
	B2	rural e cooperativa de eletrificação rural
	B3	demais classes
	B4	iluminação pública

Fonte: PROCEL EDUCAÇÃO, 2006

2.4 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

2.4.1 Conceitos

A Eficiência Energética, pode ser definida como um conjunto de atividades sistêmicas que têm como objetivo principal otimizar ao máximo o uso de energia e de suas fontes, principalmente as fontes de energia não renováveis disponíveis no meio ambiente, ao mesmo tempo que atenta para a utilização econômica das energias renováveis como forma de reduzir o grande consumo dos combustíveis de fontes não renováveis. A Eficiência Energética e o uso de energias renováveis são considerados os pilares para a construção de uma política energética sustentável (PEREIRA, 2009).

Tema de estudos, pesquisas e desenvolvimento de tecnologias, origem de discussões, criação de leis e até parte constituinte do Protocolo do Kyoto, de 1997, a Eficiência Energética é vista de vários modos, tanto como uma das maneiras de conter a emissão de gases do efeito estufa, através do desenvolvimento e uso de tecnologias energeticamente eficientes, quanto motivo para redução de crescimento e queda nas receitas das indústrias do setor produtivo, uma vez que se deixada de lado pode culminar em problemas como apagões

e/ou racionamento de energia, como ocorrido no Brasil no ano de 2001, evidenciando a crise no setor elétrico (SOLA; KOVALESKI; XAVIER, 2005).

Segundo o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL, 2006), a Eficiência Energética, também se faz presente no meio estudantil, uma vez que, como instrumento de conservação de energia, está cada vez mais se aproximando das necessidades da sociedade, influenciando de maneira direta corpos docentes e discentes de cursos superiores da área de engenharia, que devem ter conhecimento a respeito de sistemas, metodologias, tecnologias, materiais e equipamentos que possibilitem uma melhoria da Eficiência Energética tanto nos processos industriais quanto no dia a dia.

Em linhas gerais, como visto anteriormente na seção 2.2, a eficiência energética é a relação entre a energia gerada na saída e a energia disponível na entrada de um sistema ou processo. Deste modo podemos dizer que para um sistema ou processo ser eficiente, o produto final ou resultado deve estar o mais próximo possível do que foi consumido ou disponibilizado no início, do ponto de vista energético. Em termos de conservação de energia, é correto afirmar que um sistema ou processo eficiente é aquele que reduz as perdas, otimizando o uso da energia de entrada.

2.4.2 Aspectos socioeconômicos e ambientais

Neste momento, devemos alinhar os conceitos de eficiência energética e conservação de energia, do ponto de vista socioeconômico e ambiental.

Do ponto de vista da conservação de energia, a redução das perdas em um processo implica diretamente no aumento da eficiência do mesmo, porém não leva em consideração o custo da energia envolvida e os impactos sociais e ambientais.

Com o aumento do poder aquisitivo da população, principalmente nos países em desenvolvimento, o consumo de energia tem aumentando de maneira acentuada. Esse indicador que reflete um aquecimento econômico e uma melhoria na qualidade de vida, tem diversos aspectos negativos.

De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEM), o principal aspecto negativo deste crescimento acentuado no consumo de energia é a real possibilidade de ocorrer um esgotamento dos recursos utilizados na geração de energia. Outro aspecto extremamente relevante é o impacto sentido no meio ambiente decorrente dessa atividade. Finalmente, é importante lembrar que quanto mais o consumo cresce, maior é a necessidade de se fazer

investimentos no setor energético, em pesquisas, novas tecnologias e construção de usinas, para atender a demanda.

Sendo assim, o uso dos conceitos e ferramentas de eficiência energética, se fazem extremamente necessários, desde sua abordagem estudantil até suas aplicações em grandes indústrias e grandes centros consumidores. Uma vez alinhado com o conceito de conservação de energia, surge um mecanismo de grande importância e que pode trazer excelentes resultados na sociedade como um todo: redução das perdas de energia, com consumo responsável, processos otimizados, menor impacto ambiental e estímulo a programas de conscientização e uso eficiente de energia.

2.4.3 Programas de Eficiência Energética

No Brasil, existem diversas instituições que lidam com a questão da eficiência energética, como o Ministério de Minas e Energia (MME); a ELETROBRÁS, responsável pelo PROCEL; a PETROBRÁS, responsável pelo Programa Nacional de Racionalização do Uso de Derivados de Petróleo e Gás Natural (Conpet); a ANEEL, responsável pelo Programa de Eficiência Energética das Concessionárias Distribuidoras de Energia Elétrica (PEE); o Inmetro, responsável pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem; entre outros (ELEKTRO, 2012).

Como destaque, o PROCEL atua, em parceria com o Inmetro, no Programa Brasileiro de Etiquetagem, atribuindo o Selo Procel a equipamentos elétricos, destacando sua eficiência energética, e reiterando a importância da economia de energia em conjunto com os programas de conscientização do uso racional da energia elétrica, como mostrado na Figura 3.

O PROCEL também aplica de forma voluntária, recursos da ELETROBRÁS enquanto existe a obrigação das concessionárias de energia em disponibilizar uma porcentagem de sua receita líquida para programas voltados à eficiência energética, além de ter uma atuação de destaque em projetos educacionais.

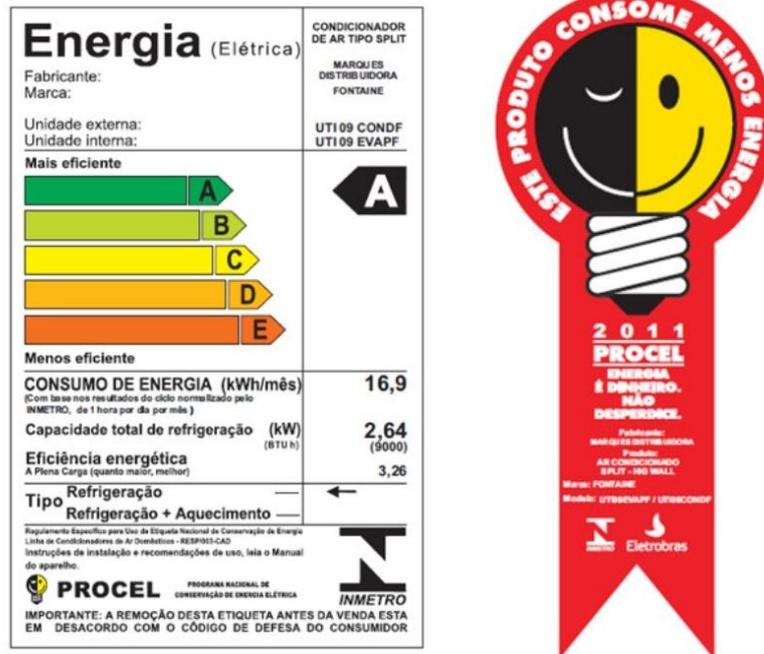
Entre os diversos subprogramas que o PROCEL desenvolve, pode-se determinar três categorias onde o programa atua: informação/educação, tecnológica e apoio direto a setores específicos.

Alguns deste subprogramas são:

- Eficiência Energética em Equipamentos - PROCEL Selo
- Eficiência Energética Industrial - PROCEL Indústria

- Informação e Cidadania - PROCEL Educação
- Eficiência Energética na Iluminação Pública e Sinalização Semafórica - PROCEL Reluz

Figura 3 - Selo Procel



Fonte: PROCEL, 2015. Disponível em: www.procel.gov.br. Acesso em Outubro/2015.

2.4.4 Eficiência Energética nas Indústrias

O setor industrial consome cerca de metade de toda a energia elétrica gerada no Brasil, sendo que grande parte deste setor produz bens que também consomem energia. Deste modo, devem ser criadas e acompanhadas, ações de eficiência energética com relação à programas de conscientização, gestão de energia e emprego de tecnologias energeticamente eficientes (SOLA; KOVALESKI, 2004).

Estudos de eficiência energética em empresas comerciais, serviços ou seguimento industrial são fundamentais para a redução de custos fixos, auxiliando campanhas e programas de eficiência energética iniciados pelos órgãos governamentais e outras entidades, além de contribuir para a preservação ambiental.

Existem diversos exemplos de ações que já fazem parte do nosso cotidiano, como por exemplo torneiras que permanecem abertas por alguns segundos e interrompem o fluxo de água automaticamente após o uso; sensores de presença, em corredores e banheiros, que

acionam a iluminação apenas quando há alguém no recinto; cartões de acesso a quartos de hotéis, salas de aula, salas de reuniões e afins, que ao serem posicionados internamente após abrir a porta, liberam a energia para todo o recinto; campanhas de conscientização para uso racional de água e energia, entre outros.

Nas organizações industriais, a criação de grupos e campanhas, pode ser um bom começo. É possível identificar quais áreas ou setores possuem um maior potencial para redução no consumo de energia, levantando dados referentes a economia financeira que pode ser gerada, quais as melhorias com relação ao impacto no meio ambiente, qual o retorno social e econômico que a campanha trará, etc (PEREIRA, 2009).

PEREIRA (2009) mostra também que, dentro do foco deste estudo, com relação a energia elétrica, cada departamento pode ficar responsável por incluir ações no plano de ação da organização industrial em questão, como por exemplo:

- Unificar o horário de almoço dos funcionários do setor, para que neste tempo toda a iluminação, aparelhos de ar condicionado e monitores (no caso de setores administrativos) possam ser desligados;
- Individualizar ao máximo a iluminação do setor, de modo que seja possível acionar apenas as luminárias realmente necessárias para determinada atividade ou período do dia;
- Em setores de logística e materiais, armazéns e afins, verificar a real necessidade de iluminação, pois itens estocados não necessitam de iluminação;
- Instalar sensores de presença em locais onde não há fluxo constante de pessoas;
- Instalar sensores fotoelétricos em ambientes com iluminação noturna, para que ao amanhecer os mesmos desliguem a iluminação automaticamente;
- Criar cartazes, atividades e premiações relacionadas ao uso consciente da energia.

Essas e outras ações, fazem parte do conceito envolvido na Modulação Fabril, tema central deste estudo, com foco na energia elétrica, e que será abordado com maior ênfase a partir de agora.

3 METODOLOGIA PARA GESTÃO DA PRODUÇÃO VISANDO A REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE FABRIL EM ESTUDO

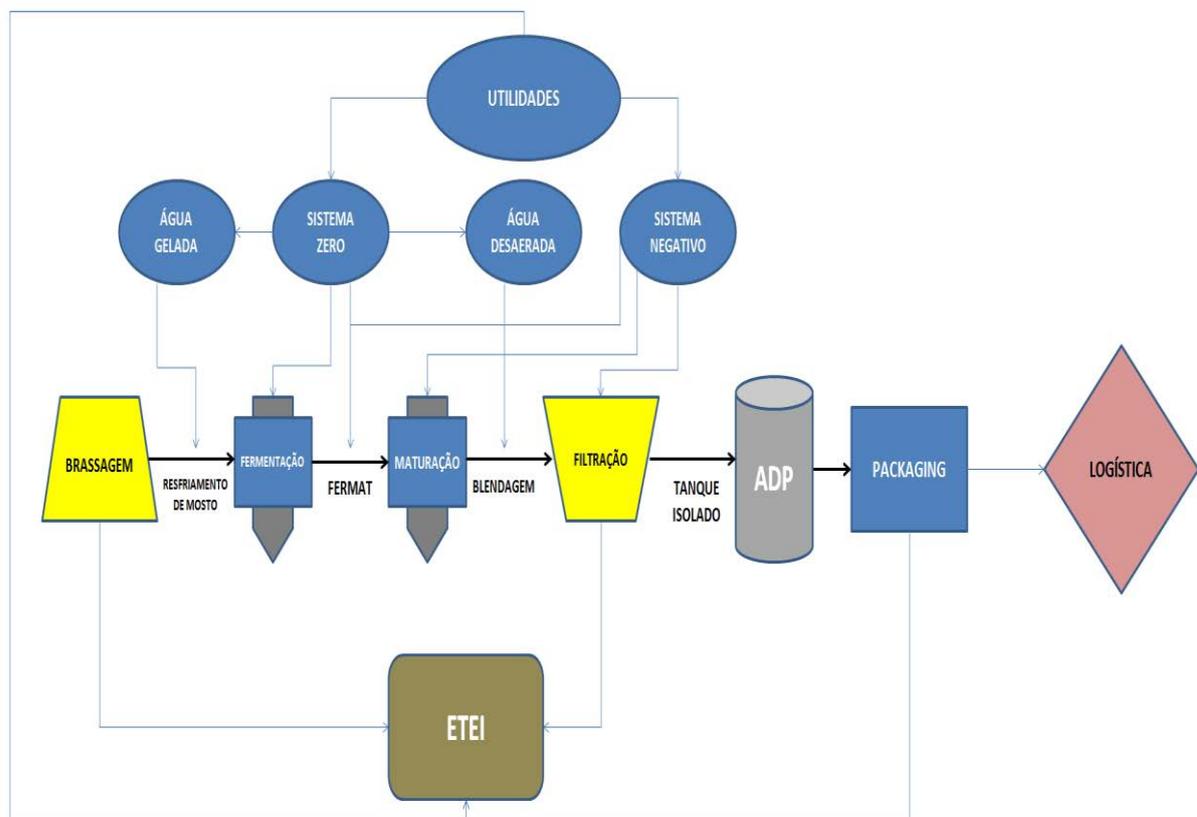
A unidade fabril em estudo é uma empresa do setor de bens de consumo, que produz bebidas e tem como principal produto a cerveja.

Uma cervejaria é basicamente dividida pelos setores que compõe a produção (brassagem, filtração, adegas e packaging), os setores de apoio à produção (ETA, ETEI e utilidades) e o setor de distribuição do produto final (logística).

Setores administrativos não serão incluídos neste estudo, pois possuem baixo consumo de energia elétrica.

O processo da unidade fabril em estudo, envolvendo todas as áreas, pode ser melhor descrito pelo fluxograma mostrado na Figura 4.

Figura 4 - Fluxograma do processo da unidade fabril em estudo



Fonte: Autor, 2015

3.1.1 Área de Processo (Brassagem, adegas e filtração)

A produção da cerveja se inicia na *brassagem*, uma estrutura vertical que funciona como uma "panela grande", onde basicamente ocorre a mistura da água tratada na ETA, com o malte (produto da germinação da cevada) em um processo de fervura, portanto, é um processo que utiliza, além da água, o calor como uma das utilidades.

O produto resultante dessa fervura, chamado de mosto, sai da fervura com aproximadamente 98°C e passa por um processo de resfriamento através de água gelada, sendo direcionado para a adega de fermentação, que tem como objetivo armazenar o produto durante a etapa de fermentação, a aproximadamente 10°C.

O produto resultante do processo de fermentação, passa por um trocador de calor de dois estágios chamado de Fermat, que utiliza tanto o sistema zero quanto o sistema negativo para diminuir a temperatura do produto fermentado que está na casa dos 15°C.

Após passar pelo Fermat, o produto entra na adega de maturação com aproximadamente -1,5°C, onde passa pelo processo de maturação, tendo sua temperatura mantida pelo sistema negativo.

Na saída da adega de maturação, o produto a -1,5°C passa por um processo de blendagem, que basicamente consiste em homogeneizar a mistura com o auxílio de água desaerada (água sem ar).

O produto então entra na etapa de filtração com aproximadamente 0°C. Na filtração, além do produto ser resfriado novamente a -1,5°C, são separados quaisquer resíduos sólidos da mistura líquida a ser armazenada nas adegas de pressão (ADP). Estes resíduos são chamados de bagaço, e além de serem descartados do processo, muitas vezes são revendidos, como forma de complementar a alimentação de animais.

As ADPs fazem parte da etapa de pré envase, onde a cerveja é mantida refrigerada em um sistema isolado enquanto não vai para a área de packaging.

Todos os resíduos gerados ao longo do processo são enviados para a ETEI a fim de serem devidamente tratados.

A área das adegas é uma das grandes consumidoras de energia elétrica em uma cervejaria, pois demanda uma grande quantidade de energia elétrica para produzir o frio utilizado na refrigeração.

O processo de produção de cerveja leva em torno de dez dias para ser concluído, incluindo todas as etapas de produção até estar pronto para ser envasado.

A Figura 5 mostra a área onde se localizam as adegas e o prédio da brassagem na unidade fabril em estudo. A área de filtração se localiza abaixo das adegas.

Figura 5 - Área das Adegas e prédio da Brassagem



Fonte: Unidade fabril em estudo, 2015

3.1.2 Packaging

A área de *packaging*, uma das áreas que mais consome energia elétrica em uma cervejaria, é onde a cerveja é envasada e encaminhada para a distribuição. Nesta área, os vasilhames passam por um processo de lavagem a quente e secagem antes de receber o produto (consumo de água, calor e energia elétrica).

Durante o envase os vasilhames circulam por transportes (esteiras) que levam os mesmos para todas as etapas do processo de *packaging*, que incluem, além da lavagem e secagem, o preenchimento com o produto, a colocação do rótulo e da rolha (tampa), a pasteurização (aquecimento e resfriamento do produto em tempos determinados, aumentando a duração do mesmo), processo que faz com que o produto que antes era chopp passe a ser a cerveja tradicional, e por fim os testes sensoriais, que tem o objetivo de verificar o volume de cerveja nos vasilhames e verificar possíveis danos, contaminantes, etc.

O uso dos transportes nas linhas de *packaging* é outro ponto importante a ser tratado na metodologia e que será apresentado posteriormente.

Figura 6 - Área de Packaging



Fonte: Unidade fabril em estudo, 2015

3.1.3 ETA e ETEI

Como o principal insumo na produção de cerveja é a água, esta deve ser tratada e utilizada de maneira correta desde a sua captação até o seu descarte em forma de efluente, de modo a contribuir com a conservação do meio ambiente e evitar problemas com os órgãos ambientais de fiscalização.

A *ETA* (Estação de Tratamento de Água), é responsável pela captação da água em rios ou em poços e pelo processo de tratamento da mesma, de modo que esta possa ser utilizada na produção da cerveja.

A *ETEI* (Estação de Tratamento de Efluentes Industriais), é responsável pelo tratamento químico e biológico de todos os resíduos gerados na produção da cerveja, de modo que o efluente final possa ser descartado de maneira segura e com o mínimo de impacto no meio ambiente. A *ETEI* tem grande impacto no consumo de energia elétrica, pois possui bombas responsáveis por manter a circulação do efluente em tratamento, entre outros equipamentos que demandam alta quantidade de energia elétrica e não podem deixar de operar.

Figura 7 - Estação de Tratamento de Efluentes Industriais (ETEI)



Fonte: Unidade fabril em estudo, 2015

3.1.4 Logística

A área de *Logística* é basicamente composta pelos armazéns onde o produto fica armazenado antes de ser redirecionado para os centros de distribuição e posteriormente para os consumidores, e pelos depósitos de materiais e equipamentos da unidade fabril. Sendo assim, a principal fonte de consumo de energia elétrica neste setor é a iluminação, que é um importante item deste estudo e terá um item próprio incluído na metodologia a ser apresentada, em conjunto com os demais planos de ação referentes a este tipo de consumo.

A área de logística também é responsável por duas frentes extremamente importantes da metodologia de Modulação Fabril, o Planejamento de Produção e a Malha de Produção.

O *Planejamento de Produção* como o próprio nome diz, consiste no processo de planejar a produção dentro da unidade fabril, baseado na Malha, horas e equipamentos disponíveis e demanda do mercado.

A *Malha de Produção* é uma previsão do cenário de consumo dos produtos feita semanalmente baseada na demanda de mercado, dados estatísticos, vendas, histórico do período do ano, entre outros itens, e tem como objetivo orientar o planejamento da produção. A Malha é calculada para todas as unidades fabris da empresa, uma vez por semana, prevendo o cenário para as próximas dez semanas a contar da semana de publicação da mesma. A cada semana, os cálculos são refeitos e a Malha prevista anteriormente para determinadas semanas a frente pode ser alterada.

A grande diferença do Planejamento e da Malha, é que mesmo o planejamento se baseando na Malha, o mesmo é feito diariamente dentro das unidades fabris visando cumprir o volume de produção que foi estabelecido, e não se altera.

O Planejamento de Produção dentro da metodologia de Modulação Fabril, é feito com o auxílio de uma Ferramenta de Modulação, que será discutida mais adiante.

3.1.5 Utilidades

A área de *Utilidades*, é a principal área de apoio à produção de cerveja, com relação ao consumo de frio, ar comprimido, vapor e CO₂, sendo a área que mais consome energia elétrica em uma cervejaria, e portanto, será a área foco deste estudo.

Na área de utilidades, existem compressores que são responsáveis pela produção de ar comprimido, utilizado ao longo de todo o processo.

Existem também, compressores responsáveis pela distribuição do CO₂ que será consumido ao longo do processo, bem como outros equipamentos responsáveis por cada uma das etapas do processo de seu beneficiamento.

A geração de vapor é feita através da queima de combustíveis em caldeiras, e em algumas unidades fabris, através de cogeração (o combustível é queimado e dá origem a dois tipos de energia: elétrica e calorífica), sendo este vapor distribuído pela fabrica para ser utilizado ao longo do processo, principalmente no cozimento do mosto.

A geração de frio, tem como objetivo fornecer baixa temperatura para os processos que necessitam de refrigeração.

O modelo mais simples de um sistema de refrigeração, consiste em um fluido que ao circular pelo sistema e ter suas características físicas alteradas (volume e pressão), gera temperaturas muito baixas, que podem ser transportadas diretamente para os processos ou serem utilizadas para resfriar outro fluido cujas características o tornem mais apropriado para o transporte.

Este é o caso do sistema da Figura 8, o sistema de refrigeração a base de amônia (NH₃). Neste sistema, o fluido amônia é utilizado para gerar temperaturas muito baixas e resfriar o fluido etanol (C₂H₆O), que é transportado através da planta. A amônia não é transportada diretamente através dos processos por ser considerada perigosa, caso ocorram vazamentos. A utilização da amônia como fluido principal se justifica por este ser o mais comum dos fluidos refrigerantes, pelo fato da amônia não ser prejudicial à camada de ozônio, não ser corrosiva

quando utilizada na forma anidra (sem contaminação com água) e principalmente por possuir alta densidade, que possibilita o uso de compressores menores, diminuindo a potência necessária para o sistema funcionar, o que implica diretamente na redução do consumo de energia elétrica.

O Reservatório de Amônia é responsável por abastecer o compressor com amônia gasosa em baixa pressão (AGBP), através da válvula de abastecimento. O Compressor tem a função de aumentar a pressão da amônia, distribuindo para o condensador amônia gasosa em alta pressão (AGAT). O condensador resfria a amônia gasosa, tornando o fluido amônia líquida em alta pressão (ALAT).

O resfriamento é feito através da indução de ar frio na direção do encanamento contendo amônia. O ventilador é direcionado para a água gelada que entra no condensador e é responsável por trocar calor com a amônia.

Na sequência aparece a garrafa acumuladora de líquidos, cuja função é armazenar a amônia líquida em alta pressão e permitir a distribuição da mesma para o restante do sistema.

A amônia líquida em alta pressão é então direcionada para uma bifurcação. O primeiro caminho, à direita, funciona como um escape. A amônia passa por uma válvula de expansão, cuja função é diminuir sua pressão, através de um processo de expansão de volume, tornando a amônia líquida em baixa pressão (ALBP).

A seguir a amônia líquida em baixa pressão entra no separador de líquidos, que consiste em um reservatório onde a amônia líquida se separa da amônia gasosa, ficando depositada no fundo do mesmo.

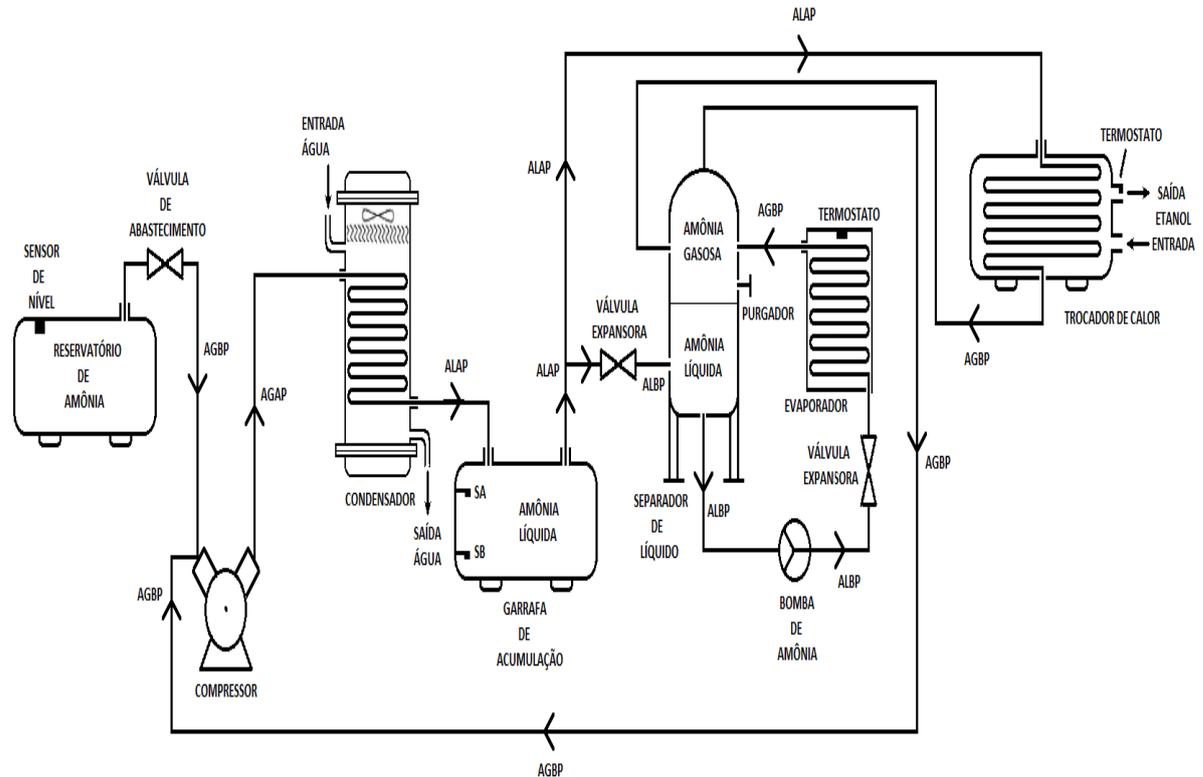
A amônia líquida em baixa pressão sai então do separador de líquidos e passa por uma bomba de NH_3 , que é especialmente utilizada para estimular o transporte do líquido. Na sequência existe outra válvula de expansão, que nesta posição tem como função controlar a vazão de amônia e também sua temperatura.

Na sequência aparece um evaporador, que transforma a amônia líquida em baixa em pressão em gás, que novamente é depositado no separador de líquidos.

Toda a amônia gasosa em baixa pressão contida no separador de líquidos, é devolvida ao compressor, reiniciando o processo.

No segundo caminho da bifurcação, a amônia líquida em alta pressão é direcionada para um trocador de calor, onde irá resfriar o fluido etanol, que será distribuído para atender as necessidades dos processos. Na saída do trocador de calor, temos amônia gasosa em baixa pressão, que retorna para o separador de líquidos e é redirecionada ao compressor.

Figura 8 - Sistema de refrigeração a base de amônia (NH₃)



Fonte: Autor, 2015

Como mostrado no fluxograma do processo da Figura 4, existem dois sistemas de refrigeração na área de utilidades, o Sistema Zero e o Sistema Negativo. Basicamente o sistema zero consiste na refrigeração do etanol a 0°C, enquanto o sistema negativo consiste na refrigeração do etanol a até -3.5°C.

O detalhamento do sistema de refrigeração com amônia é importante pois o sistema de frio será o grande foco da metodologia proposta, uma vez que se trata do maior consumidor de energia elétrica dentro do setor que mais consome energia, portanto, é o sistema individual que mais consome energia elétrica dentro de uma cervejaria.

3.2 MODULAÇÃO FABRIL

3.2.1 Definição: O que é Modulação Fabril?

A *Modulação Fabril*, pode ser entendida como toda e qualquer ação tomada com objetivo de otimizar o consumo de energia elétrica, vapor e água em períodos com baixa demanda dos produtos no mercado, e períodos de escassez de água (período seco), uma vez

que cerca de 70% da matriz energética Brasileira é composta por usinas hidrelétricas (MME), que dependem da disponibilidade de água para gerar energia elétrica.

A necessidade de se otimizar o uso dos insumos relacionados à produção, se apoia no conceito de eficiência energética e conservação de energia discutidos anteriormente.

As empresas buscam melhorias constantes e perseguem metas, que podem ser afetadas pelos períodos de baixa demanda.

Uma metodologia de otimização no consumo dos insumos de produção, pode ser a garantia de estabilidade nos períodos de baixa demanda e um avanço nos períodos de alta demanda, impulsionando o crescimento da empresa.

3.2.2 Vantagens da aplicação da metodologia de modulação fabril

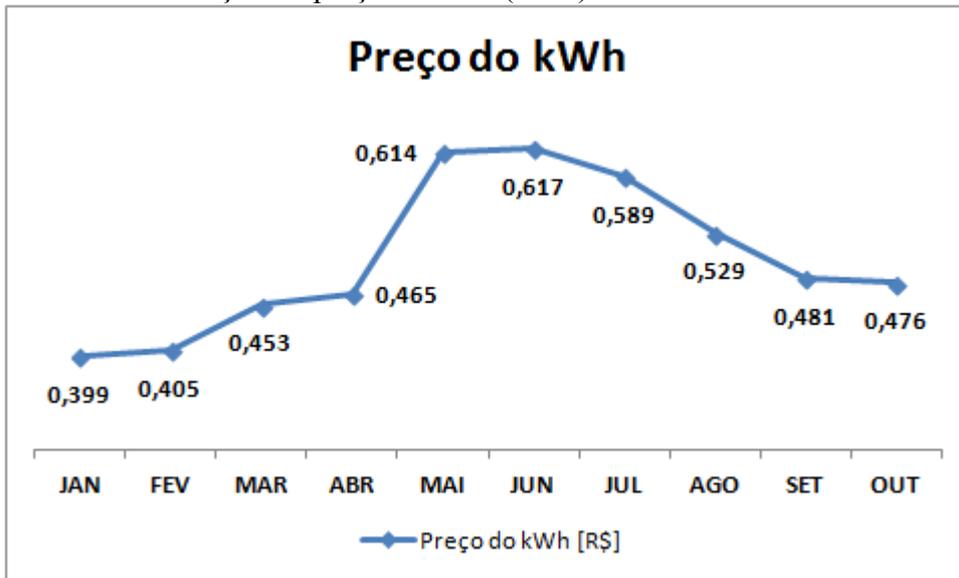
Como dito anteriormente, o período que compreende os meses de maio à novembro (período seco), é um período em que a demanda é reduzida, ou seja, a procura pelo produto no mercado diminui, além de ser um período em que o preço da energia, ou, mais especificamente para energia elétrica, o preço do kWh, aumenta em função da baixa disponibilidade hídrica que implica em um aumento dos custos de geração de energia elétrica.

Como na maioria das empresas o consumo é tratado em termos de performance, é necessário que a relação entre o consumo e a produtividade esteja sempre próxima do planejado ou da meta estabelecida, no caso da unidade fabril em estudo, o que pode ser um problema no período de baixa demanda, uma vez que a produtividade diminui em uma proporção maior do que o consumo.

Isto acontece pois dentro da unidade fabril, existe um consumo fixo (iluminação, perdas magnéticas no núcleo dos transformadores das subestações de energia, geração de frio não otimizada, tratamento de água, etc) que sempre estará presente, independente do quanto está sendo produzido.

O Gráfico 1 mostra a variação do preço do kWh na unidade fabril em estudo ao longo do ano de 2015 (até o mês de outubro).

Gráfico 1 - Variação do preço do kWh (2015)

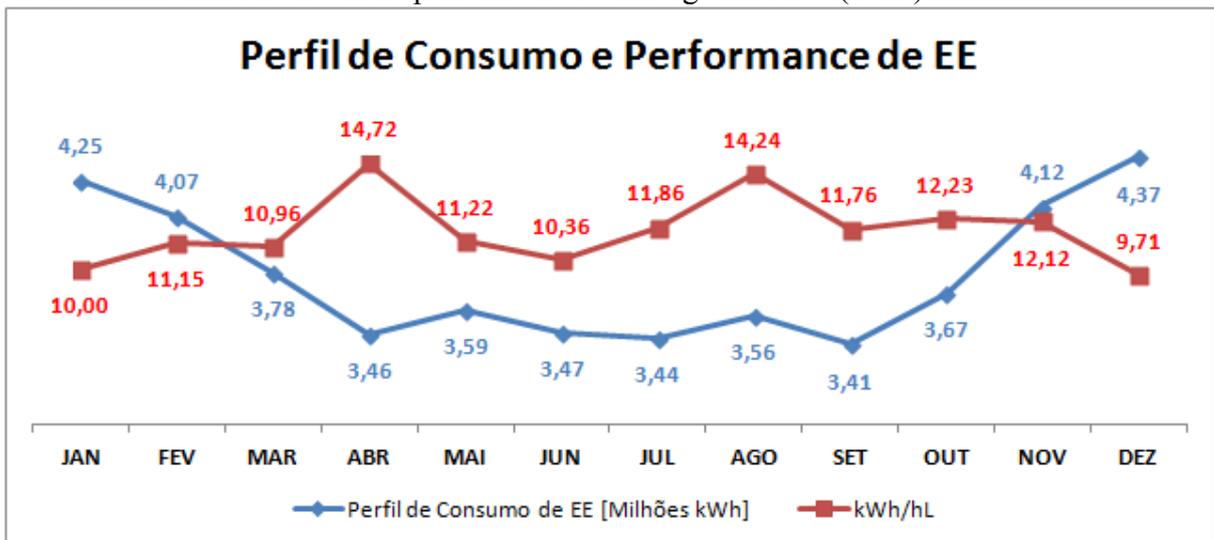


Fonte: Autor, 2015

É possível notar pela análise do Gráfico 1, que o preço do kWh chega a mais de 50% entre o mês de maior demanda que é janeiro e o primeiro mês do período seco que é maio, e começa a decrescer próximo dos valores iniciais a partir do mês de outubro.

Para avaliar este impacto, será analisado, através do Gráfico 2, o perfil de consumo de energia elétrica da unidade fabril em estudo, baseado no ano anterior (2014), e a relação do consumo de energia com o volume produzido (indicador de performance).

Gráfico 2 - Perfil de consumo e performance de Energia Elétrica (2014)



Fonte: Autor, 2015

A análise do Gráfico 2 é conclusiva: o indicador de performance que relaciona o consumo em kWh pelo volume produzido em hL (hectolitro), e deve ser o menor valor

possível, aumenta durante o período de baixa demanda, mesmo com a redução do consumo de energia elétrica. No ponto de vista econômico, este comportamento se repete, pois o valor pago pela energia fica maior nos meses de baixa demanda.

Somado aos problemas do consumo fixo, da baixa demanda, do aumento do custo do kWh, e da baixa performance, estão os problemas operacionais, que muitas vezes acabam passando despercebidos em períodos de grande demanda, onde o grande volume produzido dilui os desperdícios com energia, mascarando o problema.

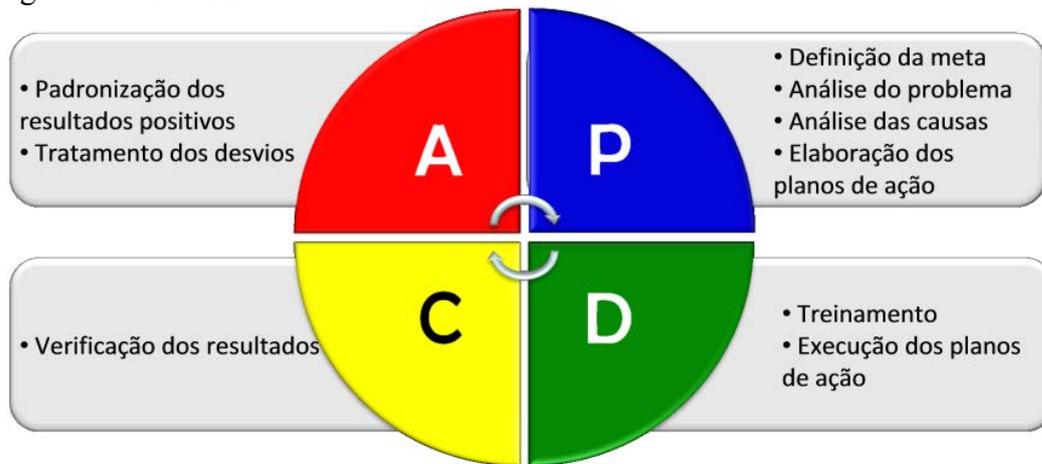
Deste modo, a Modulação Fabril é a metodologia ideal para este cenário, atuando na eficiência energética do processo e nas práticas operacionais, como este estudo visa comprovar.

3.2.3 Ciclo PDCA

Uma das ferramentas mais tradicionais utilizadas para controle e melhoria contínua de processos e produtos é o *Ciclo PDCA* (Plan - Do - Check - Act), uma ferramenta iterativa composta de quatro ciclos, como mostra a Figura 9.

- Planejar - Estabelecer objetivos e processos necessários para entregar resultados e/ou atingir objetivos;
- Desempenhar - Implementar o plano, executar o processo e coletar dados para mapeamento e análise dos próximos passos;
- Checar - Estudar o resultado obtido e compará-lo com o resultado esperado, de modo a obter informações pertinentes para a última etapa;
- Atuar - Determinar onde aplicar as mudanças definidas na melhoria do processo, analisar possíveis diferenças entre o resultado obtido e o resultado planejado e tomar ações corretivas em cima destas diferenças, com objetivo de refinar todo o processo de análise.

Figura 9 - Ciclo PDCA



Fonte: TCE PR, 2015

A metodologia de Modulação Fabril, segue basicamente os mesmos passos do Ciclo PDCA, se aprofundando nos detalhes do processo e sempre com foco na eficiência energética.

3.2.4 Tipos de Modulação Fabril

Existem dois tipos distintos de Modulação Fabril, adotados de acordo com as necessidades do processo e com o perfil da empresa, como mostra a Figura 6.

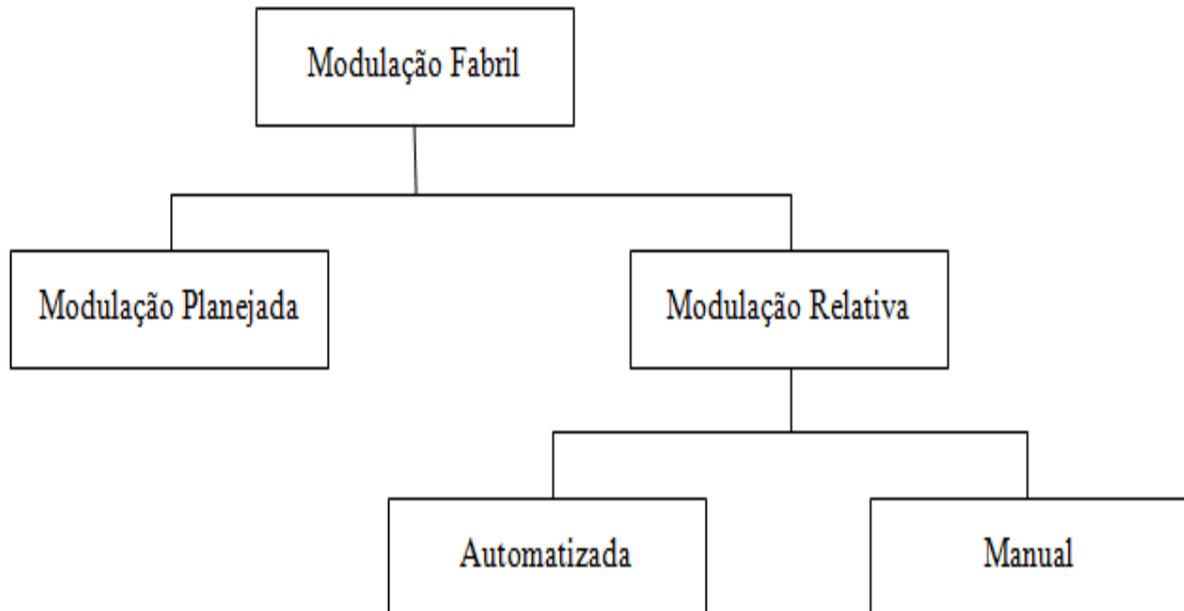
Na *Modulação Planejada*, o desempenho do processo ou produto recebe um planejamento integrado, através da análise de múltiplos cenários de produtividade e da predição dos impactos em cada uma das áreas em seus respectivos indicadores.

Já na *Modulação Relativa*, não há um planejamento, apenas a tomada de decisões e adoção de algumas medidas no momento em que se necessita parar a produção ou realizar alguma manutenção.

Em processos automatizados, são realizados, por exemplo, intertravamento entre motores, gerenciamento do funcionamento de compressores, uso de computadores lógico programáveis (CLP's) para reduzir a pressão do sistema em momentos de menor produção, etc.

Em processos manuais, são realizados, por exemplo, desligamentos da linha de produção em caso de queda de energia, redução da pressão do sistema através de comando manual em válvulas, comunicação entre as áreas para tomada de decisões em paradas e manutenções, etc.

Figura 10 - Tipos de Modulação Fabril



Fonte: Autor, 2015

3.2.5 Níveis de Metodologia para Modulação Fabril

Conhecendo os dois tipos de Modulação Fabril, podemos definir três níveis distintos de aplicação da metodologia, em uma unidade fabril de bens de consumo:

- **Nível I - Shutdown:** é a metodologia mais básica de Modulação Fabril. Consiste em desligamento de cargas e fechamento de válvulas para bloquear o consumo de energia elétrica, vapor e água em momentos de parada de produção e manutenção. Está associado à Modulação Relativa;
- **Nível II - Protocolo de Modulação Fabril:** é a metodologia que apresenta vários itens que devem fazer parte das considerações durante a programação das linhas de produção a fim de otimizar o consumo de energia elétrica, vapor e água, como por exemplo a demanda de mercado, o custo da energia, a eficiência de linha, etc. Está associado à Modulação Planejada. Este nível será o foco deste estudo;
- **Nível III - Programação Fabril:** é a metodologia de gestão da unidade fabril voltada para otimização do custo variável em vários cenários de alocação de

volume de produção. Baseia-se em cálculos estatísticos e teóricos para previsão do consumo de energia elétrica, vapor e água, para vários cenários de programação das linhas de produção. Assim, com o cálculo do custo de cada cenário, escolhe-se o de menor custo, muitas vezes sacrificando um indicador de uma determinada área em benefício do custo total da fábrica. Está associado à Modulação Planejada.

3.2.6 Programa de Água e Energia

Na modulação fabril, o *Programa de Água e Energia* (energia engloba tanto eletricidade como outras utilidades, como ar comprimido, CO₂, frio, calor, etc), consiste na conservação dos recursos naturais através do desligamento dos equipamentos consumidores de água e energia em todos os locais da unidade fabril, durante paradas de produção e manutenções.

As *paradas de produção*, são os intervalos onde a produção é interrompida, durante fins de semana, feriados, inventários, quebras, desprogramação de linhas de produção, atividades de limpeza, PSM (Process Safety Management), ações emergenciais para controle de vazamentos ou contenção de substâncias perigosas, grandes paradas para manutenção, programação de linhas e higienização interna de equipamentos com substâncias controladas.

A execução do Programa de Água e Energia leva em conta dois parâmetros:

- Pontos de Água e Energia: Equipamentos elétricos ou entradas de água são indicados como "a ser desligado" ou "a ser fechado" durante paradas de produção, através de etiquetas individuais;
- Rota de Água e Energia (Shutdown): rotina dentro de uma área onde os interruptores de equipamentos elétricos e válvulas de água, são numerados e identificados como "pontos de água e/ou energia" por um adesivo colorido, de modo que sejam desligados ou fechados durante determinadas paradas de produção.

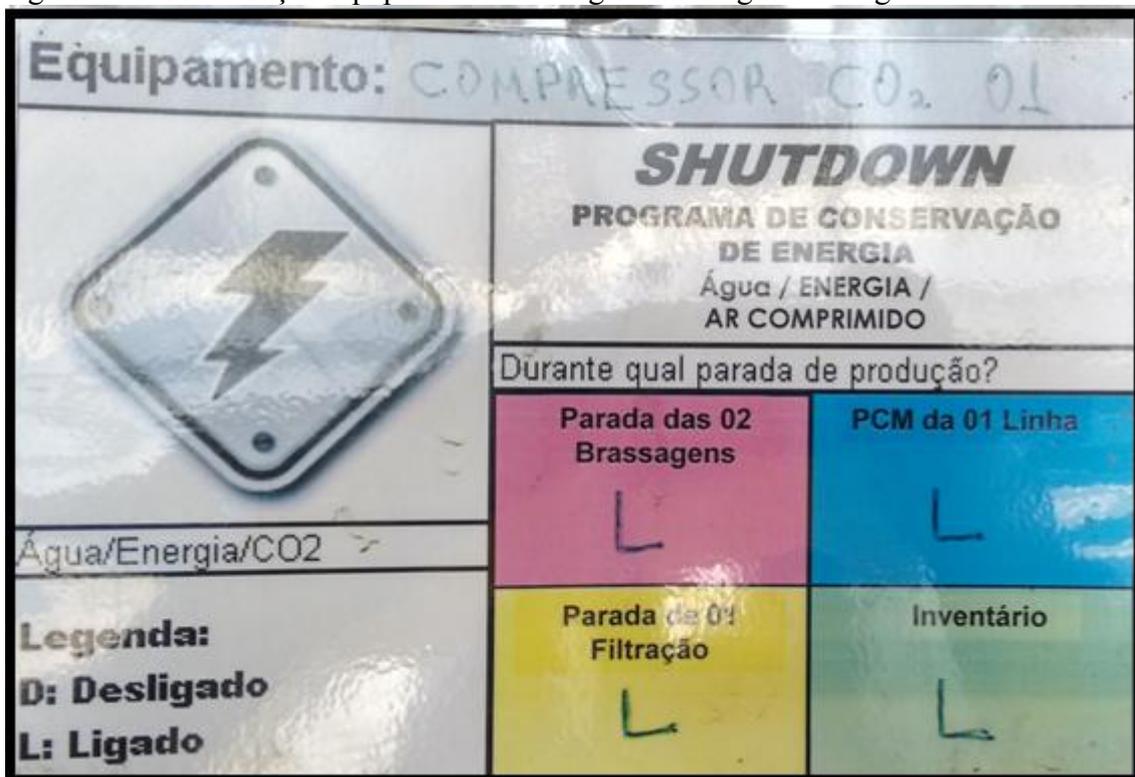
Através deste dois parâmetros, elabora-se uma etiqueta de identificação para cada equipamento, que deve informar quais tipos de energia estão associados ao mesmo, para quais tipos de paradas de produção deve-se atentar, e se este equipamento deve permanecer desligado ou ligado durante a parada.

Cada setor da unidade fabril é responsável pela correta elaboração e utilização destas etiquetas de identificação, pois os equipamentos localizados em diferentes setores possuem particularidades em sua operação que devem ser levadas em consideração.

A responsabilidade pela elaboração da etiqueta de identificação e pelo cumprimento do que está sendo indicado, é do supervisor da área, que pode eleger funcionários que fiquem responsáveis especificamente por um equipamento ou grupo de equipamentos, de modo a garantir a correta operação durante paradas.

A Figura 11 ilustra uma das etiquetas de identificação de um equipamento no setor de utilidades da unidade fabril em estudo.

Figura 11 - Identificação equipamento no Programa de Água e Energia



Fonte: Unidade fabril em estudo, 2015

3.3 PROTOCOLO DE MODULAÇÃO FABRIL

Como mencionado na seção 3.2.5, o nível de modulação fabril a ser estudado é o Nível II, ou, Protocolo de Modulação Fabril, metodologia na qual são analisados diversos itens e são feitas algumas considerações durante a programação das linhas de produção, otimizando o consumo de energia elétrica, vapor e água.

Com o objetivo de quantificar a importância de cada uma das áreas no consumo de energia elétrica e justificar a escolha dos principais itens da metodologia a ser proposta, com relação às suas respectivas áreas, a Tabela 3 mostra o consumo de energia elétrica dividido por área em uma cervejaria.

Tabela 3 - Divisão do consumo de energia elétrica em uma cervejaria

Divisão do consumo de energia elétrica em uma cervejaria	
Setores	Consumo (%)
Utilidades	40
Packaging	35
ETA/ETEI	12
Processo	7
Iluminação	5

Fonte: Autor, 2015

Para melhor entender este nível de modulação, a metodologia será dividida em cada uma das áreas da unidade fabril em estudo (apresentadas anteriormente na seção 3.1).

Primeiramente será feito um levantamento dos equipamentos presentes em cada setor e suas respectivas potências, de modo a definir o consumo de cada área. Posteriormente a metodologia será apresentada na forma de questionamentos que visam orientar a otimização do processo, através da comparação com o que deve ser feito e o que está sendo feito. Estes questionamentos recebem o título de *Boas Práticas Operacionais*.

3.3.1 Protocolo no Processo (Brassagem, Filtração e Adegas)

3.3.1.1 Divisão do consumo de energia elétrica no processo

A Tabela 4 mostra os equipamentos utilizados no processo e seus respectivos consumos de energia elétrica em um dia (supondo que a unidade fabril rode as 24h).

Lembrando que, apesar das Adegas serem parte do processo, o consumo de energia elétrica das mesmas é decorrente do frio do qual necessitam e que é produzido na área de utilidades.

A área de brassagem é dividida em três salas distintas, onde se encontram os *fabricos*, responsáveis pelo cozimento do mosto. Existe também na brassagem uma área chamada de

fermat, onde o mosto é preparado para iniciar o processo de fermentação, com a utilização de centrífugas (CR).

Por fim a área de filtração é basicamente composta por um conjunto de filtros, que como dito anteriormente, têm como objetivo separar a maior quantidade possível de líquido da mistura formada pelo mosto, e por um equipamento chamado *desaerador*, que é responsável por produzir água desaerada para o processo. O desaerador consome basicamente frio e etanol, portanto o consumo de energia elétrica que o mesmo demanda é apenas com relação a sua bomba de recirculação.

Tabela 4 - Consumo diário dos equipamentos no Processo

Consumo diário dos equipamentos no processo			
Equipamento	Consumo (kWh)	Quantidade	Energia Total(kWh)
Fabricos (Sala 1)	240	12	2880
Fabricos (Sala 2)	240	10	2400
Fabricos (Sala 3)	270	8	2160
Centrífugas (CR)	750	3	2250
Filtros	550	4	2200
Desaerador	360	1	360

Fonte: Autor, 2015

Pela análise dos equipamentos instalados, chega-se ao valor de 12250 kWh de consumo de energia elétrica total na área de processo.

3.3.1.2 Boas Práticas Operacionais na área de processo

O Protocolo de Modulação Fabril para a área de processo que inclui a brassagem, filtração e as adegas, possui as seguintes boas práticas operacionais:

- a) A unidade mantém o volume diário de produção alinhado com a malha planejada par o mês?

Para uma malha de produção de trinta dias, o volume diário deve manter a relação de 1/30 ($\approx 3,5\%$), para manter o volume armazenado (que necessita de resfriamento e portanto consome muita energia elétrica) sempre o mais próximo do ideal;

- b) A unidade está operando com o mínimo de salas de brassagem?

Novamente, o uso das salas de brassagem deve estar alinhado com a malha de produção, pois o consumo de energia elétrica é o mesmo independente do volume em cada uma das salas. Portanto deve-se otimizar o uso dos fabricos de acordo com a produção planejada;

- c) O planejamento de produção diário é revisado para otimizar o consumo de utilidades?

A produção de utilidades para consumo no processo deve ser otimizada de acordo com o planejamento de produção;

- d) A vazão do sistema de água desaerada é a mínima necessária para atender a necessidade de utilização no processo?

Mais uma vez, o uso de água desaerada (que implica diretamente no consumo de frio e por consequência de energia elétrica), deve estar alinhado com as necessidades do processo, para evitar que seja produzida água desaerada em excesso e que a mesma fique recirculando pelo sistema, consumindo mais energia do que o necessário;

- e) A unidade está operando com o número mínimo de centrífugas?

Para garantir o número mínimo de centrífugas em operação, deve-se avaliar a capacidade de centrifugação das mesmas com relação a malha de produção da unidade;

- f) A unidade está operando com o número mínimo de filtrações?

Para garantir o número mínimo de filtrações em operação, deve-se avaliar a capacidade de filtração das mesmas com relação a malha de produção da unidade;

- g) A unidade está operando com o nível de enchimento máximo nos tanques (adegas) de fermentação e maturação?

O conteúdo das adegas necessita de resfriamento, e o mesmo ocorre pela superfície de contato das adegas com o produto armazenado. Caso o nível de

enchimento esteja reduzido, haverá perda de energia térmica no espaço vazio do tanque, que resulta em desperdício de frio e por consequência, de energia elétrica;

- h) As adegas de fermentação e maturação não utilizadas têm suas atividades isoladas?

Adegas fora de funcionamento não devem consumir energia;

- i) A unidade está trabalhando com o número de adegas de pressão (ADP) conforme o planejado?

As adegas de pressão têm como objetivo apenas armazenar o produto finalizado que vai ser envasado. Deste modo deve-se otimizar o seu uso para que o produto não fique mais tempo do que o necessário armazenado antes de ser envasado, reduzindo o consumo de frio e de energia elétrica por consequência;

3.3.2 Protocolo no Packaging

3.3.2.1 Divisão do consumo de energia elétrica no packaging

A Tabela 5 mostra o consumo de energia elétrica em um dia (supondo que a unidade fabril rode as 24h), em cada uma das linhas de packaging da unidade fabril em estudo.

O consumo total das linhas de packaging é de 51000 kWh.

As linhas de packaging são basicamente compostas por motores, responsáveis por manter a circulação dos vasilhames através das esteiras de transporte; bombas, responsáveis por conduzir o produto da filtração até as enchedoras; e outros componentes eletroeletrônicos como válvulas e sensores.

A utilização correta dos equipamentos no packaging é um dos pontos mais importantes a serem observados entre as boas práticas operacionais do processo como um todo, pois existe um grande problema com relação à adoção dos padrões técnicos nesta área, provocados pela falta de comunicação entre a área de packaging e utilidades, principalmente com relação ao desperdício de energia elétrica, com linhas e equipamentos em funcionamento em momentos de parada de produção.

Tabela 5 - Consumo diário das linhas de Packaging

Consumo diário das linhas de packaging	
Linhas	Consumo (kWh)
Linha 1	5600
Linha 2	5650
Linha 3	5850
Linha 4	6350
Linha 5	6550
Linha 6	6600
Linha 7	6850
Linha 8	7550

Fonte: Autor, 2015

3.3.2.2 Boas Práticas Operacionais no packaging

O Protocolo de Modulação Fabril para a área de packaging, possui as seguintes boas práticas operacionais:

- a) As linhas de packaging individuais são desligadas e isoladas quando não estão produzindo?
As linhas que não forem incluídas na programação de produção diária devem ser totalmente desligadas e ter todas as utilidades isoladas;
- b) Os equipamentos individuais em cada uma das linhas de packaging são desligados e isolados quando não estão em operação?
As linhas são divididas em partes, responsáveis por determinadas etapas do processo de envase, desde a lavagem do vasilhame até o empacotamento. Caso uma das etapas não esteja em operação, os equipamentos devem ser desligados, e ter suas utilidades isoladas;
- c) O planejamento de produção diário é revisado para otimizar o consumo de utilidades?

A produção de utilidades para consumo no paclaging deve ser otimizada de acordo com o planejamento de produção, e volume de mosto filtrado;

- d) As linhas de packaging estão sendo programadas de forma a reduzir o número de paralisações, ligamentos e desligamentos?

A operação contínua da linha deve ser garantida, pois evita o excesso de paradas e partidas de motores, além de evitar super aquecimento nas lavadoras e pasteurizadores;

- e) Os transportes das linhas de packaging estão programados para desligar após um tempo pré determinado em que a linha esteja parada?

É comum encontrar linhas com a produção parada onde os transportes continuam em operação, rodando em falso em pontos com travas de vasilhames ou caixas, ou rodando a vazio. Este é um dos pontos mais importantes a serem observados no packaging, pois é uma fonte imensa de desperdício de energia elétrica;

3.3.3 Protocolo na ETEI/ETA

3.3.3.1 Consumo de energia elétrica nas ETEI/ETA

O consumo de energia elétrica em um dia (supondo que a unidade fabril rode as 24h), nas ETEI/ETA da unidade fabril em estudo, pode ser resumido como 2500 kWh para a ETA e 18500 kWh para a ETEI, totalizando 21000 kWh de consumo de energia elétrica diário no tratamento de água.

Como mencionado anteriormente, a potência instalada nas ETEI/ETA é composta basicamente por grandes bombas, responsáveis pela maior parte do consumo de energia elétrica, por alguns filtros e aeradores.

3.3.3.2 Boas Práticas Operacionais na ETEI/ETA

O Protocolo de Modulação Fabril para a área de ETEI/ETA, possui as seguintes boas práticas operacionais:

- a) A vazão de captação de água na ETA é ajustada conforme a programação de produção diária?

Novamente, desde o início do processo, na captação e tratamento de água, o volume deve estar alinhado com a previsão de produção;

- b) Os filtros de água da ETA estão sendo isolados quando a vazão de água captada é reduzida?

A utilização dos filtros deve ser reduzida de acordo com a vazão da captação de água, para otimizar o consumo de energia elétrica do processo de tratamento;

- c) A unidade está operando com os aeradores da ETEI de acordo com a taxa de oxigênio nos tanques de aeração?

Basicamente um processo simples de modulação. Modular o funcionamento dos aeradores baseado na taxa de oxigênio dos tanques, que depende do volume de produção;

- d) Todas as bombas de grande porte das ETEI/ETA estão modulando de acordo com o volume produzido?

Novamente, modulação simples. Modular o funcionamento e volume tratado baseado na demanda do processo.

3.3.4 Protocolo na Logística/Iluminação

3.3.4.1 Consumo de energia elétrica na Logística/Iluminação

O consumo de energia elétrica em um dia (supondo que a unidade fabril rode as 24h), referente a logística mais toda a iluminação da unidade fabril, consiste em cerca de 10000 kWh. As lâmpadas utilizadas nos armazéns e áreas produtivas, são lâmpadas a vapor incandescentes, com cerca de 400 W cada, nas áreas administrativas as lâmpadas são fluorescentes com potência média de 30 W cada.

3.3.4.2 Boas Práticas Operacionais na Logística/Iluminação

O Protocolo de Modulação Fabril para a área de Logística e para a Iluminação, possui as seguintes boas práticas operacionais:

- a) A suficiência de vasilhames está maior ou igual a dois dias?
Caso não hajam vasilhames suficientes, a programação da produção deve ser revista e deve-se calcular o impacto no consumo de energia elétrica;

- b) A política de estoque é mantida entre o objetivo e o mínimo para cada tipo de produto?
Um estoque maior do que o necessário faz crescer a demanda por iluminação em rotinas de checagem da área de logística, fora o fato de estar desalinhada com a previsão de produção;

- c) A iluminação é desligada nas áreas de produção quando as linhas ou equipamentos estão desligados?
Equipamentos não operantes e sem a presença de operadores e/ou técnicos de manutenção, não necessitam de iluminação;

- d) Foi feito um esforço de racionalização do consumo de energia elétrica referente à iluminação dentro de todas as áreas da unidade fabril?
É comum encontrar dentro da unidade fabril lâmpadas acesas em ambientes externos durante o dia, em ambientes de baixo fluxo de pessoas, em armazéns onde não está ocorrendo nenhuma atividade de checagem da logística, etc. A instalação de sensores fotoelétricos, sensores de presença e subdivisão de circuitos de iluminação, são ações simples e que podem resolver a grande maioria destes problemas;

- e) A unidade possui um programa de conscientização para o uso da energia elétrica?
Não basta atender os problemas no nível técnico se não houver um esforço de conscientização dentro da unidade, que seja aplicado desde a parte administrativa até o chão de fábrica, ensinando as pessoas a melhor maneira de utilizar a energia elétrica e evitar o desperdício.

3.3.5 Protocolo na Utilidades

3.3.5.1 Consumo de energia elétrica na área de Utilidades

A Tabela 6 mostra o consumo de energia elétrica em um dia (supondo que a unidade fabril rode as 24h), na área de Utilidades da unidade fabril em estudo..

Tabela 6 - Consumo diário dos equipamentos da área de Utilidades

Consumo diário dos equipamentos da área de Utilidades			
Equipamento	Consumo (kWh)	Quantidade	Energia Total(kWh)
Bombas de Etanol	600	20	12000
Compressores de Frio	4000	10	40000
Condensadores Evaporativos	1000	10	10000
Compressores de Ar	3500	2	7000
Secador de Ar	150	1	150
Bomba de Resfriamento	400	1	400
Ventiladores (Torres de Resfriamento)	60	10	600

Fonte: Autor, 2015

Portanto o consumo diário total na área de Utilidades é de cerca de 70150 kWh.

3.3.5.2 Boas Práticas Operacionais na área de Utilidades

O Protocolo de Modulação Fabril para a área de Utilidades, é talvez o mais importante deste estudo, e possui as seguintes boas práticas operacionais:

- a) A unidade está operando com o mínimo de compressores de frio?
A geração de frio e distribuição para as linhas de produção e adegas deve estar alinhada com a previsão de produção e ser otimizada de acordo com o número total de compressores;
- b) Os compressores de frio com maior eficiência estão sendo priorizados na operação?

Uma vez determinado o número de compressores a serem utilizados, deve-se escolher aqueles que apresentam a melhor eficiência energética para serem colocados em operação;

- c) A unidade está operando com o mínimo de compressores de ar comprimido?

Mesmo raciocínio feito com relação aos compressores de frio;

- d) O sistema de controle otimiza o uso de compressores equipados com inversores de frequência para reduzir a carga elétrica total?

Os compressores devem modular de acordo com a demanda do processo. Para otimizar esta modulação, devem ser utilizados inversores de frequência, com o objetivo de melhorar o controle de velocidade dos motores associados aos compressores, e por consequência, melhorar a geração de utilidades dos mesmos;

- e) A unidade está operando com o número mínimo de caldeiras?

Mesmo raciocínio feito com relação aos compressores de frio e de ar comprimido;

- f) A unidade está operando sem caldeiras em standby?

Caldeiras em standby consomem energia elétrica mesmo fora de operação;

- g) Em sistemas com múltiplas bombas, as bombas com maior eficiência energética estão sendo priorizadas?

Mesmo raciocínio feito com relação aos compressores;

- h) O planejamento de produção diário está sendo revisado para otimizar o consumo de utilidades?

Novamente, a geração e consumo de utilidades deve sempre estar alinhada com a Malha de produção;

- i) Todas as manutenções periódicas e preventivas dos componentes do sistema de refrigeração estão corretamente detalhadas no plano de manutenção e sendo executadas de acordo com o plano?

Seguir o plano de manutenção é um compromisso da unidade que não pode deixar de ser realizado. Equipamentos que não recebem manutenção adequada operam com maiores perdas, e são menos eficientes do ponto de vista energético, além de que podem prejudicar a produção caso venham a quebrar;

- j) É realizada a limpeza nos ventiladores e trocadores de calor periodicamente a fim de eliminar poeira, óleo e resíduos?

A limpeza adequada permite que a troca de calor ocorra de forma natural e conforme o esperado. Sujeira acumulada pode interferir na troca de calor, ocasionando perdas, e por consequência reduzindo a eficiência energética do sistema;

- k) Os ventiladores e bombas dos condensadores estão operando de acordo com o rendimento do projeto (vazão, pressão, etc)?

A redução do rendimento destes equipamentos tem impacto direto na eficiência energética do processo;

- l) O óleo é drenado diariamente nos reservatórios baseado no cronograma de manutenção preventiva?

Para um bom funcionamento do sistema de frio e ar comprimido, os compressores e bombas devem estar bem lubrificados, e para isso, é necessário realizar a troca de óleo diária de seus reservatórios. A amônia é capaz de arrastar o óleo pelo compressor caso o mesmo esteja fora dos padrões, provocando contaminação do sistema;

- m) O sistema de amônia opera com a maior pressão de sucção e a menor pressão de descarga possível?

A diferença entre o valor da pressão de descarga do compressor e sua pressão de sucção é o que define o seu trabalho, ou seja, quanto maior esta diferença, mais o compressor tem que trabalhar, e assim, mais energia ele consome. Esta prática é extremamente importante e dá origem a dois índices de verificação que serão mostrados a seguir.

3.4 ÍNDICES DE VERIFICAÇÃO DE MODULAÇÃO FABRIL - ENERGIA ELÉTRICA

Tendo apresentado e definido o Protocolo de Modulação Fabril em cada uma das áreas da unidade fabril em estudo, agora o foco será totalmente voltado para a área de utilidades, e para os Índices de Verificação que são utilizados para acompanhar a eficiência energética do processo, totalmente alinhados com a Modulação Fabril.

3.4.1 Pressão de Sucção

Como mencionado anteriormente na última prática do Protocolo da área de Utilidades, a *Pressão de Sucção*, é um importante item de verificação do sistema de frio. Este item se divide em dois, Pressão de Sucção do Sistema Zero (P_{S0}) e Pressão de Sucção do Sistema Negativo (P_{SN}). A diferença entre estes itens está relacionada com o sistema ao qual atendem, sistema zero grau (0°C) e sistema negativo ($< -3,5^{\circ}\text{C}$), respectivamente, que são sistemas que geram e distribuem temperaturas distintas requeridas por cada etapa do processo.

A outra diferença entre estes itens está no set point de pressão associado a cada um. Para o sistema zero, o set point de pressão é de 3,1 bar enquanto para o sistema negativo o set point de pressão é de 2,45 bar. Isto significa que, baseado no Protocolo, ambos os sistemas devem sempre operar com a maior pressão de sucção possível, a partir do valor de set point.

Em termos de eficiência energética, estudos realizados na unidade fabril em questão, estimam que para cada 0,1 bar de aumento na pressão de sucção, reduz-se 3% do consumo de energia elétrica do equipamento. Logo, em um dia, um aumento de 0,1 bar na pressão de sucção de cada um dos compressores da área de utilidades da unidade fabril em estudo, como mostrado na Tabela 8, implica em uma redução de 1200 kWh no consumo de energia elétrica.

3.4.2 Variação da Pressão de Descarga

Assim como para a pressão de sucção, como mencionado anteriormente na última prática do Protocolo da área de Utilidades, a *Pressão de Descarga* é um importante item de verificação do sistema de frio, uma vez que tem influência direta no trabalho do compressor, devendo ser o menor valor possível.

A avaliação da pressão de descarga é feita através de um índice chamado de *Variação de Pressão de Descarga* (ΔP_d), que basicamente é o módulo da diferença entre a pressão de descarga (P_d) do sistema e a *Pressão da Temperatura de Bulbo Úmido* (P_{TBU}).

$$\Delta P_d = |P_d - P_{TBU}| \quad (3)$$

A *Temperatura de Bulbo Úmido* (TBU), é a menor temperatura que a água pode atingir através de resfriamento por ar forçado, ou seja, através das torres de resfriamento, onde os ventiladores empurram o ar resfriado na direção da água. Esta água que é utilizada nos condensadores evaporativos do sistema de frio.

Foi realizado um estudo empírico na unidade fabril em questão, em que se mediu a potência do conjunto torre mais compressor para cada faixa de TBU, e chegou-se em uma equação (equação 4) que correlaciona a TBU com a pressão de descarga ótima do sistema de frio, ou seja, para cada TBU, existe uma pressão ótima de descarga na qual o consumo de energia elétrica é o menor possível (MENDES, 2012).

$$P_{TBU} = 0,0146 \times TBU^2 - 0,293 \times TBU + 10,092 \quad (4)$$

O set point definido para a variação de pressão de descarga é de 0,3 bar. Logo, por definição, após feita a medição da pressão de descarga e a conversão da TBU, a diferença entre os valores deve ser menor do que 0,3 bar.

Por exemplo para uma TBU de 22°C, a P_{TBU} é de 10,71 bar. Deste modo, a pressão de descarga do sistema de frio deve estar no mínimo a 10,41 bar e no máximo a 11,01 bar. Como a pressão de descarga deve ser a menor possível, qualquer valor entre 10,41 e 10,71 bar é considerado bom.

Em termos de eficiência energética, uma redução de 0,1 bar na pressão de descarga, corresponde a 1% de redução no consumo de energia elétrica. Logo, em um dia, uma redução de 0,1 bar na pressão de descarga de cada um dos compressores da área de utilidades da unidade fabril em estudo, como mostrado na Tabela 6, implica em uma redução de 400 kWh no consumo de energia elétrica.

3.4.3 Tempo de Fermentação e Maturação

Como mencionado anteriormente na seção 3.3.1, o tempo de produção da cerveja leva em torno de dez dias, sendo que estes dez dias incluem o tempo que a cerveja fica armazenada na adega de fermentação, na adega de maturação e na adega de pressão.

Por questões de qualidade do produto e pela característica do processo, existe um padrão técnico que define a faixa com os tempos mínimos e máximos que o produto pode permanecer em cada etapa do processo.

Para as adegas de pressão, não há um grande inconveniente, pois o produto está prestes a ser envasado, fica armazenado em um tanque isolado e, no caso da unidade fabril em estudo, grande parte do volume já possui programação definida, e fica poucas horas armazenado na adega de pressão, antes de seguir para o packaging.

No caso das adegas de fermentação, o padrão técnico define que o produto deve permanecer no mínimo 100 horas e no máximo 180 horas em processo de fermentação. Para tanto, foi criado um índice de verificação chamado de *Tempo de Fermentação* (T_F), que objetiva otimizar o tempo em que o produto permanece armazenado nas adegas de fermentação de acordo com o planejamento da produção. O set point definido para este item é o próprio valor máximo de 180 horas. Deste modo, é necessário que para otimizar o consumo de frio nas adegas de fermentação, o produto fique sempre no máximo 180 horas armazenado nas mesmas antes de ir para as adegas de maturação.

Para as adegas de maturação, o padrão técnico define que o produto deve permanecer entre 48 horas e 240 horas em processo de maturação. O índice de verificação chamado de *Tempo de Maturação* (T_M), que objetiva otimizar o tempo em que o produto permanece armazenado nas adegas de maturação de acordo com o planejamento de produção, prevê um set point de 60 horas. Deste modo, para otimizar o consumo de frio nas adegas de maturação, o produto deve ficar no máximo 60 horas armazenado nas mesmas, antes de ser direcionado para as adegas de pressão.

O processo de fermentação mais maturação como um todo, não deve ultrapassar 240 horas, nem ser inferior a 160 horas. Se forem seguidos os valores mínimos definidos, tem-se 180 horas de fermentação mais 60 horas de maturação, totalizando 240 horas, ou, dez dias, como o processo de produção foi definido anteriormente.

É extremamente importante ressaltar que, quanto maior for o número de horas em que o produto fica armazenado nas adegas, maior será o consumo de frio, e por consequência, maior

será o consumo de energia elétrica. Alinhar os padrões de qualidade do produto com a eficiência energética também faz parte da Modulação Fabril.

Recentemente foi levantado um questionamento a respeito de um problema que não vinha sendo observado ao longo do processo, entre a etapa de fermentação (nas adegas de fermentação) e a etapa do Fermat (etapa que antecede à entrada nas adegas de maturação). Este problema consiste em um tempo ocioso que não estava sendo contabilizado no processo. O que acontece é que após a etapa de fermentação, o sistema de frio é liberado para operar a 100% de sua capacidade na saída das adegas de fermentação, mantendo o produto refrigerado antes de ter início a etapa do Fermat.

Esta lacuna de tempo não é prevista pelo padrão técnico e não deve ocorrer de maneira nenhuma, pois indica um claro desalinhamento entre as etapas do processo, além de aumentar o consumo de energia elétrica na etapa de fermentação, sem que isto seja observado através do tempo de fermentação.

A criação de um novo índice de verificação referente a este tempo ocioso já está em estudo, e esta informação já vem sendo desdobrada não só na unidade fabril em estudo como também nas outras unidades do país.

3.4.4 Taxa de Ocupação de Adegas

Muito foi falado até este momento sobre revisar o consumo de utilidades de acordo com a previsão de produção. Baseado nos índices de verificação já apresentados e nos conceitos mostrados, surge o último item de verificação de Modulação Fabril, que está diretamente associado aos tempos de fermentação e maturação, consumo de energia elétrica e previsão de produção.

A *Taxa de Ocupação de Adegas* (T_{OA}), é a relação entre o volume armazenado total nas adegas de fermentação, maturação e pressão (V_{AT}) e a Malha de produção para os próximos 30 dias (M_{30}). Em outras palavras, comparando a Malha de produção para os próximos 30 dias, com o volume já produzido pela unidade, esta relação deve ser de 1/3 (33%), uma vez que o processo de produção deve, por padrão, transcorrer em 10 dias, ou seja, se a unidade manter a produção atual nos próximos 30 dias, irá passar por três ciclos de produção, e atenderá a Malha de produção prevista.

Por padrão, foi adotada uma faixa de 30 a 40% para a taxa de ocupação, sem que hajam grandes impactos no consumo de energia elétrica ($> 40\%$), nem tampouco risco de não atender a demanda do mercado ($< 30\%$).

A taxa de ocupação pode ser desdobrada em um outro índice de verificação futuramente, que consiste na relação entre o volume armazenado ao longo de um mês e a produção líquida final da unidade, referente ao produto que for ao mercado. Este índice poderá indicar possíveis perdas no packaging e também poderá ser um indicador de possíveis lacunas ao longo do processo nas adegas, além de ser mais um indicador que mostra se a unidade está alinhada com a Malha. Porém este índice ainda está sendo estudado e não está efetivamente em uso.

4 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA NA UNIDADE FABRIL EM ESTUDO, COM RESULTADOS E APRENDIZADOS

A unidade fabril em estudo, recebeu suporte e acompanhamento em todos os itens referentes a melhoria de processos e operações ao longo de 2015. Com relação a energia elétrica não poderia ser diferente, o que torna mais fácil a realização de ações voltadas à eficiência energética e permite um acompanhamento muito próximo dos resultados.

Para auxiliar no acompanhamento da Modulação Fabril, informações como potência dos equipamentos instalados em cada área, número de salas de brassagem, número de filtrações, número de adegas, número de linhas de packaging, capacidade de produção do processo (em relação ao volume), e todos os outros possíveis itens de interesse ao responsável pelo Planejamento da Produção, devem ser levados em consideração, como mostrado na seção 3.3.

Cabe ao responsável pelo planejamento de produção programar as linhas de produção diariamente (normalmente no final do dia, programando a produção do dia seguinte) com os valores previstos de volume a ser produzido, indicando quais e quantos equipamentos serão utilizados em todas as áreas do processo, além de prever qual será o consumo de energia elétrica, água e vapor diário. Uma vez feita a programação, os supervisores de cada área ficam responsáveis por implementar a programação no processo e nas linhas de produção, buscando chegar o mais próximo possível do volume planejado e dos consumos esperados.

No início de cada dia, é realizada uma reunião de Modulação Fabril, onde são repassados os valores reais do dia anterior e é feita a comparação com os valores planejados. Durante a reunião são discutidos os pontos a serem acertados e são propostas mudanças na programação e ajustes nos valores, de acordo com o desempenho da unidade fabril.

A partir destas considerações, são gerados três indicadores de performance de Modulação Fabril, relacionados a assertividade no cumprimento da programação da produção, para cada um dos três principais insumos de produção: energia elétrica, água e vapor.

Com relação ao indicador de performance, foi desenvolvido um procedimento para incluir a assertividade como um dos índices de verificação de Modulação Fabril. Sendo assim, foi iniciada a implementação de um e-mail informativo chamado na unidade de "farol", onde são expostos os índices de verificação de Modulação Fabril em conjunto com os índices de verificação de Energia Elétrica, de todas as unidades fabris da companhia no Brasil, a partir de um acompanhamento remoto. Este farol, é enviado aos Gerentes de Engenharia e Supervisores de Utilidades das unidades, como forma de mostrar quais unidades estão dentro dos padrões técnicos e sendo eficientes na Modulação Fabril e quais estão fora dos padrões

técnicos e com deficiência na Modulação Fabril, como cobrança por melhoria de desempenho e também para otimizar o acompanhamento e suporte dados as unidades.

Em paralelo, foi criada uma rotina de acompanhamento do Protocolo de Modulação Fabril através das boas práticas operacionais e dos planos de ação para alinhamento com as mesmas, de todas as unidades fabris do Brasil, visando uma redução geral no consumo de energia elétrica, que conta com a participação de todos os membros do time de energia elétrica.

Além do acompanhamento dos itens relacionados à Modulação Fabril, teve início um levantamento de todas as faturas de energia elétrica das unidades fabris no Brasil, buscando oportunidades para redução do consumo de energia elétrica, e redução no valor das faturas, através do ajuste do fator de potência das unidades, evitando o pagamento de multas por consumo excessivo de energia reativa, e do ajuste da demanda contratada pelas mesmas, evitando multas por ultrapassagem do valor contratado e evitando que unidades paguem altos valores de demanda contratada estando estas com a demanda registrada muito abaixo da contratada.

Com relação às faturas de energia elétrica, não foram constatados problemas nem com a demanda contratada nem com consumo de energia reativa na unidade fabril em estudo.

4.1 CENÁRIO DA UNIDADE FABRIL ANTES DO INÍCIO DO ACOMPANHAMENTO

Ao longo do estudo na unidade fabril, foi feito um levantamento dos índices de Modulação Fabril até o mês de maio de 2015, a partir do qual o acompanhamento passou a ser realizado. Neste levantamento foi incluído o valor do consumo de energia elétrica da unidade e do volume de cerveja produzido (valores aproximados), como mostrado de forma resumida na Tabela 7.

Tabela 7 - Unidade fabril em estudo antes do início do acompanhamento

Unidade fabril em estudo antes do início do acompanhamento					
Índices	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI
Pressão de Sucção Zero (bar)	3,20	3,15	3,15	3,20	3,25
Pressão de Sucção Negativo (bar)	2,55	2,50	2,50	2,50	2,45
Varição da Pressão de Descarga (bar)	0,45	0,35	0,35	0,35	0,30
Tempo de Fermentação (h)	166,70	168,65	167,85	168,40	169,55

Tabela 7 - Unidade fabril em estudo antes do início do acompanhamento (continuação)

Tempo de Maturação (h)	70,70	76,55	91,90	107,50	98,45
Taxa de Ocupação (%)	50,35	50,75	45,65	44,35	47,05
Consumo (10^3 kWh)	4075	3875	3560	3155	3360
Volume (10^3 hL)	450	395	335	275	300

Fonte: Autor, 2015

Pela análise dos dados, pode-se afirmar que os índices de verificação relacionados as pressões do sistema de frio pouco se alteram ao longo dos meses, estando fora apenas do padrão técnico para o delta de pressão de descarga.

Com relação aos tempos de fermentação e maturação, pode-se perceber que apenas no mês de janeiro o tempo total acumulado fica dentro do padrão técnico de 240 horas, sendo que extrapola este limite em todos os outros meses. O tempo de maturação não esteve abaixo das 60 horas do padrão técnico em nenhum mês.

A taxa de ocupação mostra que a unidade esteve sempre com mais volume de produto armazenado do que a malha de produção previa.

Já o consumo de energia elétrica e o volume produzido, merecem uma análise especial. O atendimento aos padrões técnicos, aderência às boas práticas operacionais e assertividade na Modulação Fabril, visam aumentar a eficiência energética do processo, em outras palavras, visam reduzir a quantidade de energia elétrica necessária para produzir um mesmo volume de cerveja.

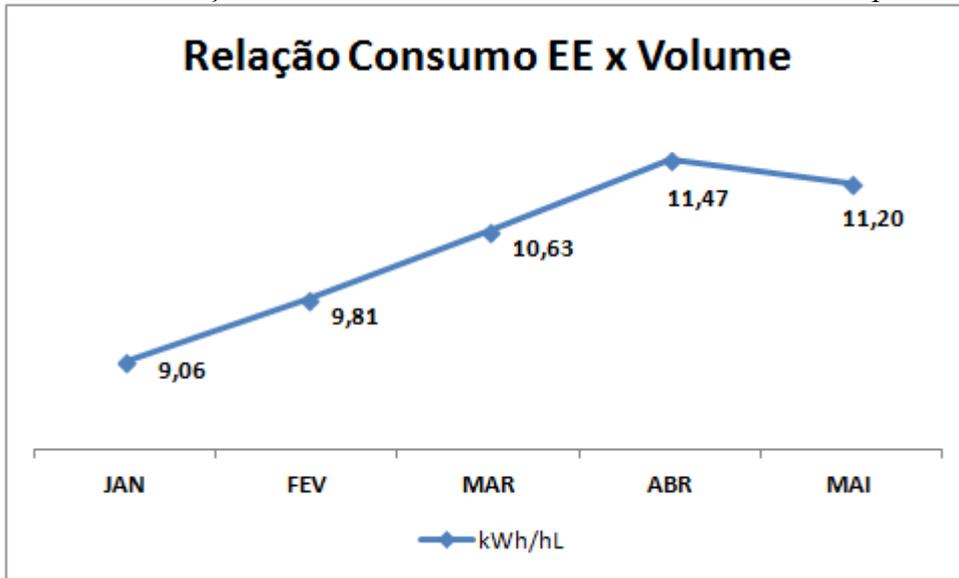
De maneira prática, a relação entre o consumo de energia elétrica (em kWh) e o volume produzido (em hL), deve ser sempre a menor possível, dentro do que for estabelecido como meta para a unidade, e deve apresentar uma redução a partir do momento que se aplicam os conhecimentos de modulação fabril na unidade.

Normalmente a Modulação Fabril tem início entre os meses de abril e maio, quando começa o período seco, e se estende até o mês de novembro quando começa o período úmido.

O Gráfico 3, mostra a relação entre o consumo de energia elétrica e o volume produzido na unidade fabril em estudo antes do acompanhamento.

Primeiramente observa-se claramente um aumento da relação kWh/hL a partir do mês de janeiro quando a demanda de mercado diminui e por consequência o volume de produção é reduzido. Também é possível observar uma pequena melhora na relação kWh/hL do mês de abril para o mês de maio, quando foram iniciadas as atividades relacionadas a Modulação Fabril, como o uso da planilha de modulação e o acompanhamento dos índices por parte da unidade.

Gráfico 3 - Relação consumo EE x Volume antes do início do acompanhamento



Fonte: Autor, 2015

O principal fator associado ao aumento da relação kWh/hL com a diminuição do volume, é o consumo fixo da unidade (iluminação, perdas nos transformadores, etc), que não se altera quando o número de equipamentos em operação no processo diminui. Deste modo, a redução do consumo não é proporcional à redução do volume. Esta é uma das grandes oportunidades de eficiência energética que o Protocolo de Modulação Fabril visa atender.

4.2 CENÁRIO DA UNIDADE FABRIL APÓS O INÍCIO DO ACOMPANHAMENTO

A partir do mês de junho, teve início o acompanhamento dos itens relacionados à modulação fabril na unidade em estudo, como citado anteriormente.

Além do farol com os índices de modulação fabril, teve início o acompanhamento da assertividade no uso da planilha de modulação, foram criados planos de ação para atendimento das boas práticas operacionais, foi oferecido suporte na solução de problemas, além de ter se iniciado um treinamento por parte dos especialistas de utilidades em todas as boas práticas operacionais do Protocolo de Modulação Fabril, relacionando-as com cada um dos índices de verificação, treinamento do qual participei inclusive da elaboração do material.

Primeiramente, devemos analisar os dados colhidos ao longo dos meses de junho até outubro na unidade fabril em estudo, após o início do acompanhamento. A Tabela 8 mostra os valores atualizados analisados anteriormente na Tabela 7.

Tabela 8 - Unidade fabril em estudo após o início do acompanhamento

Unidade fabril em estudo antes do início do acompanhamento					
Índices	JUN	JUL	AGO	SET	OUT
Pressão de Sucção Zero (bar)	3,28	2,75	3,20	3,25	3,35
Pressão de Sucção Negativo (bar)	2,50	2,65	2,60	2,55	2,55
Variação da Pressão de Descarga (bar)	0,10	0,05	0,01	0,20	0,15
Tempo de Fermentação (h)	158,50	153,55	145,45	162,30	165,25
Tempo de Maturação (h)	92,60	90,90	77,35	68,80	65,35
Taxa de Ocupação (%)	52,30	52,70	38,45	36,25	40,45
Consumo (10 ³ kWh)	3050	2650	2970	3250	3060
Volume (10 ³ hL)	285	260	300	330	310
Assertividade EE (%)	84	85	89	92	92

Fonte: Autor, 2015

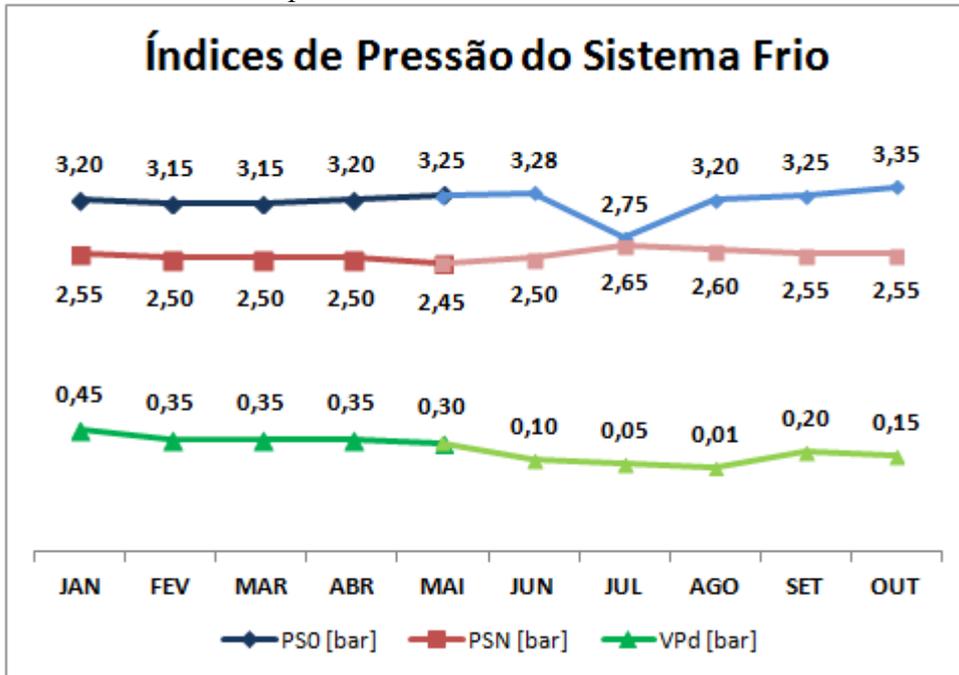
Ao analisarmos os valores dos índices de verificação de modulação fabril referentes às pressões do sistema de frio, podemos perceber claramente um aumento da pressão, tanto no sistema zero quanto no sistema negativo. Como dito anteriormente, quanto maior a pressão de sucção do sistema, menor será o consumo de energia elétrica dos compressores. Portanto, podemos dizer que o acompanhamento teve um impacto positivo neste indicador.

No mês de julho, foi necessário realizar uma manutenção emergencial em alguns componentes do sistema de frio, devido a um vazamento de amônia que ocorreu em um dos compressores. Como o sistema permaneceu por mais de 24h desligado, e após ser religado, teve um tempo de recuperação maior até atingir a eficiência máxima, houve uma queda neste índice no acumulado do mês.

Com relação à variação da pressão de descarga, houve uma alteração no sistema de medição da TBU. O termômetro foi colocado em uma posição mais adequada para a medição da temperatura da água de resfriamento, e o sistema foi programado para modular de acordo com a indicação do termômetro. O resultado como pode ser observado foi um delta de pressão de descarga quase perfeito, com a pressão de TBU praticamente igual a pressão de descarga do sistema. No mês de novembro deve ocorrer a limpeza das torres de resfriamento, uma vez que a contaminação na água pode alterar o valor da medição de TBU, o que pode estar ocasionando o aumento do delta nos meses de setembro e outubro.

O Gráfico 4 mostra o comportamento dos índices de pressão ao longo do ano antes e depois do acompanhamento.

Gráfico 4 - Índices de pressão do sistema frio



Fonte: Autor, 2015

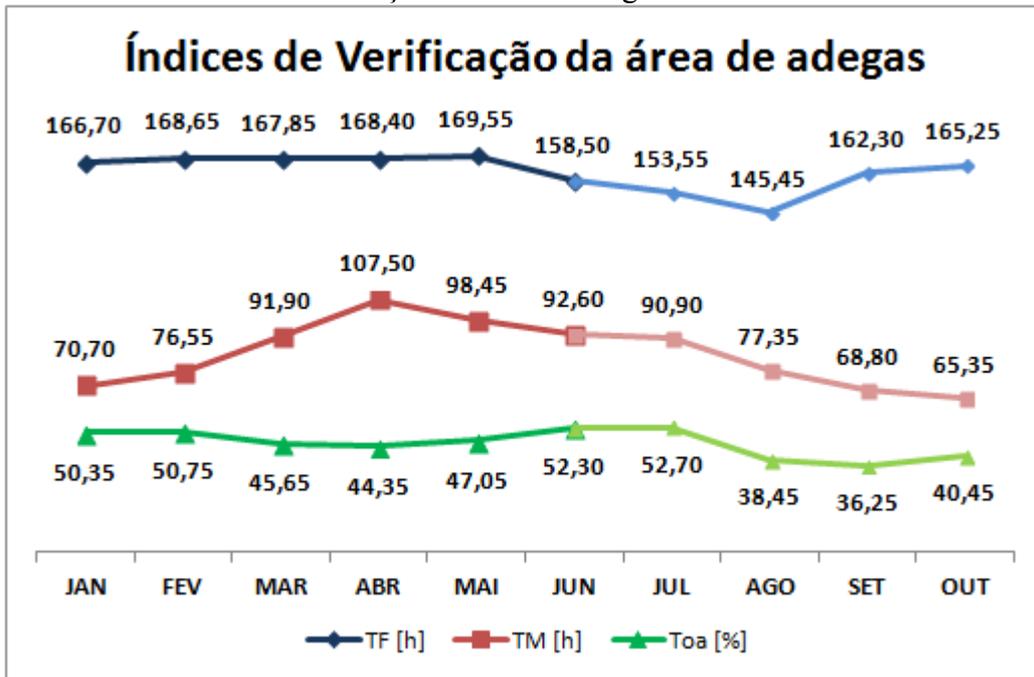
A análise dos índices de verificação de modulação fabril referentes às adegas, mostra uma redução tanto nos tempos de fermentação e maturação quanto na taxa de ocupação de adegas. Esta redução está diretamente associada com a divulgação e acompanhamento destes índices na unidade fabril. Tendo conhecimento do cenário atual da fábrica, as áreas passaram a trocar mais informações entre si, o que otimizou o processo e aproximou o volume produzido nos meses seguintes ao início do acompanhamento, da malha de produção prevista. Essa redução de ocupação e no tempo de resfriamento contribuiu positivamente para a redução do consumo de energia elétrica da unidade e aumento da eficiência energética do processo mesmo com a redução do volume produzido.

O Gráfico 5 mostra o comportamento destes índices ao longo do ano.

A partir do mês de junho teve início o acompanhamento da assertividade no uso da planilha de modulação, principalmente com relação à energia elétrica.

Analisando os dados da Tabela 8, nota-se claramente um aumento na assertividade, que vai ao encontro da ideia de utilizar a planilha de modulação sempre com o objetivo de aumentar a eficiência energética do processo. Ao longo dos meses a unidade foi capaz de corrigir os erros na programação da produção e chegar muito próximo de atingir o planejamento.

Gráfico 5 - Índices de verificação da área de adegas

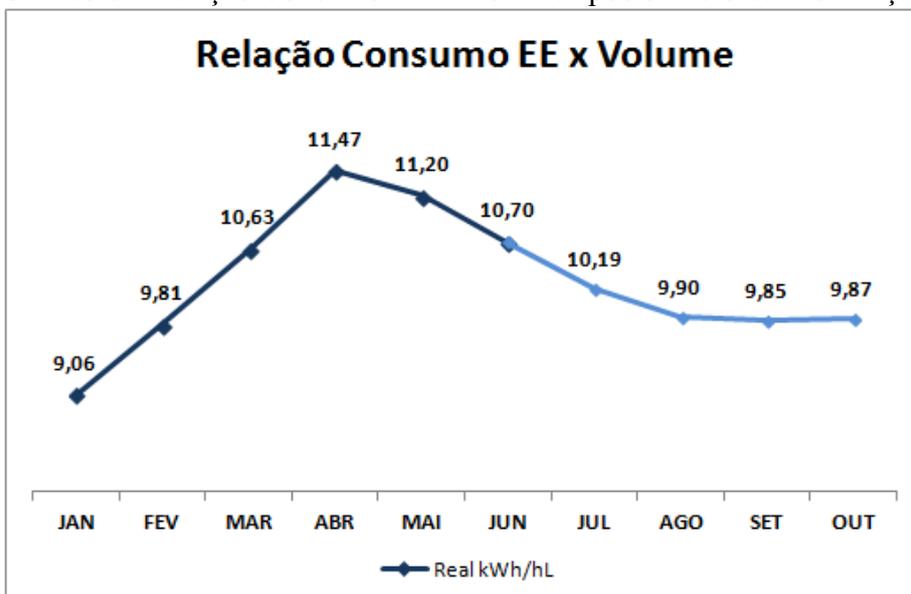


Fonte: Autor, 2015

Enfim, voltemos a análise especial feita com a relação kWh/hL na seção anterior. Esperava-se que com o início da modulação fabril no período de redução do volume de produção, a relação pudesse se manter constante, próxima da meta definida para a unidade de 10 kWh/hL.

O Gráfico 6 mostra o comportamento desta relação ao longo dos meses, antes e depois do início da Modulação Fabril.

Gráfico 6 - Relação Consumo EE x Volume após o início da Modulação Fabril

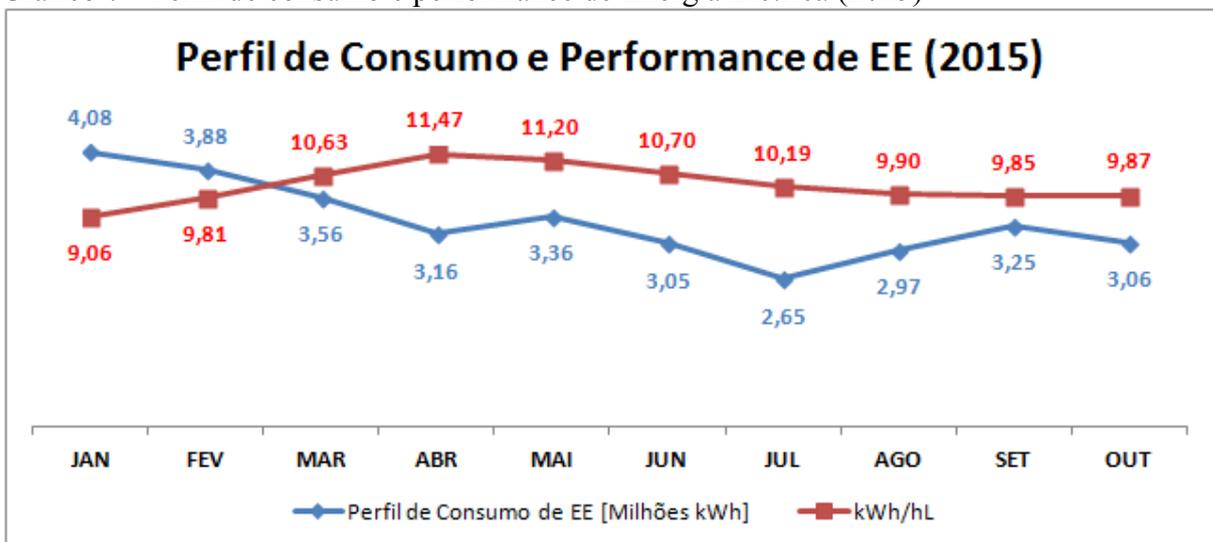


Fonte: Autor, 2015

Porém, a análise do Gráfico 6 permite dizer que a unidade fabril em estudo não só conseguiu alcançar a meta de consumo de 10 kWh/hL, como ficou abaixo da mesma nos meses de agosto, setembro e outubro.

Por fim, para avaliar o impacto do uso da Modulação Fabril, iremos novamente observar o perfil de consumo e de performance da unidade, como feito na Seção 3.2.2 através do Gráfico 2. Desta vez o perfil de consumo de energia elétrica da unidade fabril em estudo, será baseado no ano de 2015 até o mês de outubro, em conjunto com a relação do consumo de energia com o volume produzido (indicador de performance), como mostrado no Gráfico 7.

Gráfico 7 - Perfil de consumo e performance de Energia Elétrica (2015)



Fonte: Autor, 2015

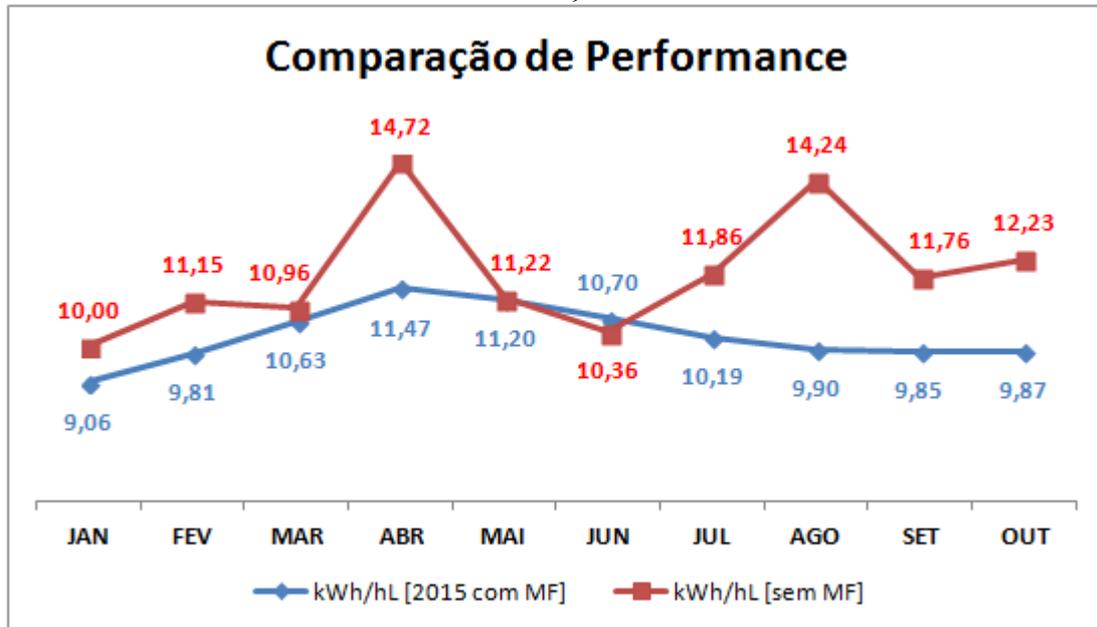
A análise do Gráfico 7, mostra que o comportamento observado anteriormente no indicador de performance, que tende a subir mesmo com a redução do consumo de energia elétrica, é alterado a partir do mês de maio, quando se iniciam as atividades relacionadas à Modulação Fabril. O indicador de performance decresce em praticamente todos os meses subsequentes, se mantendo abaixo da meta de 10 kWh/hL nos últimos três meses.

Para melhor visualizar este ganho em performance, analisemos o Gráfico 8.

O Gráfico 8 é uma combinação das performances em 2014 (sem modulação fabril) e em 2015 (com modulação fabril). Podemos notar claramente que, com exceção do mês de junho, em todos os outros meses do ano a performance da unidade fabril em estudo foi superior com a aplicação da Modulação Fabril, em comparação com os resultados apresentados sem a utilização da mesma. O caso do mês de junho ainda possui uma particularidade. No ano de 2014, foi realizada a Copa do Mundo de Futebol no Brasil, e a demanda pelo produto foi

muito maior do que costuma ser para este mesmo período em anos normais. Deste modo o volume aumentou e diluiu o indicador de performance.

Gráfico 8 - Performance com e sem Modulação Fabril



Fonte: Autor, 2015

4.3 PLANOS DE AÇÃO E TREINAMENTO NO PROTOCOLO DE MODULAÇÃO FABRIL

O plano de ação da unidade fabril em estudo para a área de utilidades, foi elaborado baseado no treinamento realizado na unidade com os supervisores e operadores, que basicamente mostrou todas as boas práticas operacionais relacionadas à utilidades, explicou cada uma delas, os possíveis impactos, as atividades associadas que podem auxiliar no atingimento das mesmas, as maneiras de se observar os problemas durante o trabalho em campo, as ações corretivas, etc.

O objetivo do treinamento foi inserir na rotina da fábrica o acompanhamento das boas práticas de modo que com o tempo estas possam ser absorvidas pelo processo de forma natural, eliminando a necessidade de serem verificadas periodicamente e as algumas vezes corrigidas.

O Quadro 1 mostra o plano de ação elaborado para a área de utilidades da unidade fabril em estudo.

Quadro 1 - Plano de ação da área de utilidades

Plano de Ação - Protocolo de Modulação Fabril						
Utilidades						
Boa Prática Operacional	Descrição	Problema	Ação	Responsável	Prazo	Impacto
Iluminação	Foi feito um esforço de racionalização do consumo de energia elétrica referente à iluminação dentro de todas as áreas da unidade fabril?	As áreas produtivas, de armazenagem e de utilidades utilizam lâmpadas não eficientes com alto consumo de energia elétrica	Substituir todas as lâmpadas incandescentes a vapor (400 W) por luminárias equivalentes de LED (100 W)	Supervisor de Elétrica	Até dez/2015	Redução de 75% no consumo de energia elétrica referente à iluminação
Iluminação	Foi feito um esforço de racionalização do consumo de energia elétrica referente à iluminação dentro de todas as áreas da unidade fabril?	Lâmpadas acesas em ambientes externos durante o dia e em locais de pouco movimento	Instalar sensores fotoelétricos nos ambientes externos e sensores de presença em locais de pouco movimento, para ligar e desligar automaticamente a iluminação quando necessário	Supervisor de Elétrica	Imediato	Redução de 50% no consumo de energia elétrica referente as lâmpadas em ambientes externos
Iluminação	A iluminação é desligada nas áreas de produção quando as linhas ou equipamentos estão desligados?	Lâmpadas acesas nas linhas de produção que não estão em funcionamento	Eleger um responsável para desligar a iluminação quando esta não for necessária	Supervisor de cada área	Imediato	Redução no desperdício de energia elétrica
Utilidades / Processo / Packaging	O planejamento de produção diário é revisado para otimizar o consumo de utilidades?	A produção não está alinhada com a Malha, reduzindo a eficiência no consumo de utilidades	Alinhar a produção com a Malha de modo a otimizar o consumo de utilidades	Supervisor de Utilidades	Imediato	Aumento da eficiência no consumo de utilidades e consequente aumento na eficiência energética
Packaging	As linhas e equipamentos individuais de packaging são desligados e isolados quando não estão operando?	Alguns equipamentos permanecem em funcionamento ou em standby quando não estão operando	Desligar e isolar os equipamentos fora de operação	Supervisor de Packaging	Imediato	Redução do desperdício de energia elétrica e eliminação do risco de incidentes por falta de conhecimento
Packaging	As linhas de packaging estão sendo programadas de forma a reduzir o número de paralisações, ligamentos e desligamentos?	Estão ocorrendo muitas paralisações nas linhas de packaging durante a produção	Eliminar o máximo de paradas desnecessárias nas linhas de packaging de modo a evitar o ligamento e desligamento excessivo dos equipamentos	Supervisor de Packaging	Até dez/2015	Otimização do uso dos equipamentos
Packaging	Os transportes das linhas de packaging estão programados para desligar após um tempo pré determinado em que a linha esteja parada?	Muitos transportes continuam rodando em falso ou com produtos nas travas mesmo com a produção paralisada	Automatizar as linhas de packaging para desligar os transportes após um determinado tempo parados	Supervisor de Automação	Até dez/2015	Otimização do uso dos equipamentos e redução do desperdício de energia elétrica

Quadro 1 - Plano de ação da área de utilidades (continuação)

Utilidades	O sistema de controle otimiza o uso de compressores equipados com inversores de frequência para reduzir a carga elétrica total?	Compressores em operação sem inversor de frequência instalado	Instalar inversores de frequência nos compressores	Supervisor de Manutenção	Até dez/2015	Redução da carga dos compressores e consequente redução do consumo de energia elétrica
Utilidades	O sistema de frio opera com a maior pressão de sucção e a menor pressão de descarga possível?	Sistema de frio não está otimizado, existem vazamentos de amônia e arraste de óleo que reduzem a pressão de sucção e aumentam a pressão de descarga	Eliminar vazamentos de amônia, realizar a purga do sistema, realizar a limpeza interna do sistema, trocar o óleo e realimentar o sistema	Supervisor de Utilidades	Imediato	Aumento da eficiência do sistema de frio, e consequente aumento da eficiência energética

Fonte: Autor, 2015

Algumas das ações já foram concluídas, como por exemplo a otimização do sistema de frio com relação às pressões, o desligamento de iluminação desnecessária, a instalação de sensores fotoelétricos e sensores de presença, e a substituição das lâmpadas por LED já foi iniciada.

Abaixo seguem algumas fotos dos problemas encontrados na unidade fabril em estudo e incluídos no plano de ação, como o arraste de óleo no sistema de refrigeração por amônia (Figura 12).

Figura 12 - Arraste de óleo no sistema de frio, medidor de pressão contaminado



Fonte: Unidade fabril em estudo, 2015

As Figuras 13, 14 e 15 mostram o problema relacionado ao mau uso da iluminação, tanto em ambientes de pouco movimento quanto em ambientes externos.

Figura 13 - Iluminação no exterior do galpão de utilidades ligada durante o dia



Fonte: Unidade fabril em estudo, 2015

Figura 14 - Iluminação em área de pouco movimento ligada durante o dia



Fonte: Unidade fabril em estudo, 2015

Figura 15 - Iluminação na área de adegas ligada durante o dia



Fonte: Unidade fabril em estudo, 2015

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho, foram apresentados os principais conceitos relacionados à eficiência energética nas indústrias como suporte à introdução da metodologia de Modulação Fabril. O objetivo da utilização de tal metodologia, se concentra na economia de energia elétrica em períodos de baixa demanda, principalmente no sistema responsável pela refrigeração da unidade fabril em estudo.

Para que fosse possível obter o melhor entendimento possível da metodologia, no início a unidade fabril em estudo foi caracterizada, uma cervejaria, sendo mostrado todo o processo, área por área, com foco nas atividades de cada uma.

Por se tratar de uma metodologia de efficientização energética, foi mostrado o perfil de consumo de energia elétrica da unidade fabril em estudo no ano de 2014, em conjunto com o perfil de performance da mesma, que correlaciona o consumo de energia elétrica com o volume produzido. O comportamento observado mostrou que a performance tende a cair quando o consumo se reduz, fazendo com que o indicador kWh/hL aumente. Este foi o ponto crucial que justificou a implantação das ferramentas oferecidas pela Modulação Fabril.

Após o problema ser identificado e ser contextualizado com o processo da unidade fabril em estudo, foi apresentado o Protocolo de Modulação Fabril, dividindo o consumo da unidade por cada uma das áreas e apresentando as boas práticas operacionais em cada uma delas, que devem ser adotadas para otimizar as operações e o consumo de energia elétrica.

Posteriormente foram apresentados os Índices de Verificação de Modulação Fabril, voltados para a energia elétrica consumida no sistema de refrigeração. Cada um dos índices foi definido de forma a mostrar o impacto que podem ter no consumo de energia elétrica caso estejam fora dos padrões técnicos.

Uma vez mostradas as ferramentas disponibilizadas pela Modulação Fabril, as mesmas foram aplicadas na unidade fabril em estudo a partir de mês de maio de 2015, de modo a aumentar a eficiência energética do processo, e mostrar o quão importante é a Modulação Fabril dentro de uma indústria de grande porte.

Com os resultados obtidos, foi feita uma análise gráfica, qualitativa e quantitativa, que mostrou uma redução do indicador de performance (aumento de performance), além de uma redução no consumo de energia elétrica, mostrando na prática que a Modulação Fabril funciona vai totalmente ao encontro dos conceitos relacionados à eficiência energética.

Como aprendizado para a unidade fabril, além do acompanhamento feito ao longo do ano, foi desenvolvido um plano de ação alinhado às boas práticas operacionais, de modo a dar

continuidade ao processo de melhoria e otimização do consumo de energia elétrica no processo.

Feitas as considerações acima, fica claro o quanto o uso da Modulação Fabril pode contribuir para a redução do consumo de energia elétrica e conseqüente aumento da eficiência energética de processos quando bem utilizada e acompanhada de perto, através das boas práticas operacionais, índices de verificação e principalmente, através da conscientização por parte da unidade e dos funcionários, que juntos estiveram engajados e empenhados no alcance destes resultados.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional - BEN**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2015, 292p.

ELEKTRO et al. **Eficiência energética: fundamentos e aplicações**. Campinas: Contraste Brasil, 2012. 314p.

ELETROBRÁS EDUCAÇÃO. **Conservação de energia: eficiência energética de equipamentos e instalações**. 3.ed. Itajubá, 2006, 597p.

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M.; REIS, L. B. dos. **Energia e meio ambiente**. Tradução da 4.ed. norte-americana. São Paulo: Cengage Learning, 2011. 708p.

MENDES, J. E. A. **Eficiência energética aplicada na indústria de bebidas em sistemas de refrigeração e ar comprimido - estudo de casos**. 2014. 141f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia - Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá 2014.

PEREIRA, M. J. **Energia: eficiência e alternativas**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna Ltda., 2009. 256p.

PROCEL. **PROCEL Info**. 2015. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/>>. Acesso em: 01 set. 2015.

SOLA, A. V. H.; KOVALESKI, J. L. Eficiência energética nas indústrias: cenários e oportunidades. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 24., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABEPRO, 2004. p 3326 - 3333.

SOLA, A. V. H.; XAVIER, A. A. P.; KOVALESKI, J. L. Eficiência energética via interação universidade-empresa. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 25., 2005, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ABEPRO, 2005. p 5139 - 5146.

TASSINI, J. O. **Eficiência energética em sistemas de refrigeração industrial: estudo de caso**. 2012. 113f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia - Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá 2012.

TCE PR. **Ciclo PDCA**. 2015. Disponível em: <<http://www1.tce.pr.gov.br/conteudo/ciclo-pdca/235505/area/46>>. Acesso em: 13 out. 2015.