

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

GABRYELLE SILVA FERRAZ

**IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE GESTÃO DE ENERGIA EM  
UM FRIGORÍFICO NA MICRORREGIÃO DA ZONA DA MATA EM  
MINAS GERAIS**

VIÇOSA  
2017

GABRYELLE SILVA FERRAZ

**IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE GESTÃO DE ENERGIA EM  
UM FRIGORÍFICO NA MICRORREGIÃO DA ZONA DA MATA EM  
MINAS GERAIS**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 490 – Monografia e Seminário e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. José Carlos da Costa Campos

VIÇOSA  
2017



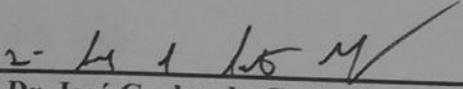
GABRYELLE SILVA FERRAZ

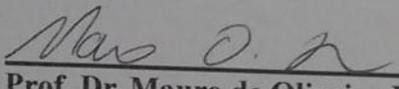
**IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE GESTÃO DE ENERGIA  
EM UM FRIGORÍFICO NA MICRORREGIÃO DA ZONA DA  
MATA EM MINAS GERAIS**

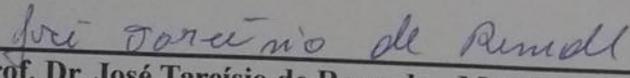
Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 490 – Monografia e Seminário e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 20 de Junho de 2017.

COMISSÃO EXAMINADORA

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. José Carlos da Costa Campos - Orientador  
Universidade Federal de Viçosa

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Mauro de Oliveira Prates - Membro  
Universidade Federal de Viçosa

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. José Tarcísio de Resende - Membro  
Universidade Federal de Viçosa

*“Na regra de aprender as lições importantes na vida, devemos todo dia superar o medo.”*

*(Ralph Waldo Emerson)*

*Dedico à toda minha família, que nem por um segundo duvidou que eu fosse capaz.*

## *Agradecimentos*

Agradeço à minha família pelo apoio incondicional durante essa trajetória. Meus pais, João Bosco e Waleska, minhas irmãs Carol e Débora, meu avô Juarez e todos os familiares que sempre estiveram na torcida pelo meu sucesso. Se não fosse por vocês, nada seria possível.

À minha sobrinha Sofia, que mesmo antes de nascer, já é luz e motivação.

Aos amigos que sempre estiveram presentes, mesmo que de longe, tornando a trajetória menos árdua.

À UFV por ter me acolhido, ter sido lar e mais que uma faculdade.

Aos professores do Departamento de Engenharia Elétrica pelos ensinamentos, em especial ao Professor José Carlos por acreditar nesse projeto. Aos funcionários do DEL, pelo zelo e carinho.

Agradeço à empresa pela oportunidade de colocar meus conhecimentos em prática. Aos amigos de trabalho e toda a equipe do setor de manutenção pelo suporte e acolhimento. Em especial, ao gestor Juliano Bertolotte pelas lições, amizade e paciência.

## ***Resumo***

O projeto visa à implantação de um sistema supervisorio de energia elétrica na em um frigorífico na microrregião da Zona da Mata de Minas Gerais, a fim de estratificar, monitorar e mapear o consumo dentro da empresa. Os almejos por maior eficiência operacional e as crises de abastecimento de energia fazem com que sejam buscadas maneiras mais eficientes de utilizá-la. Porém, para que as medidas sejam eficazes, é imprescindível que a forma como a energia é utilizada dentro das unidades consumidoras seja conhecida. Junto a isso, existe a necessidade de apurar a qualidade da energia que é entregue pela concessionária, já que isso pode influenciar no funcionamento e na vida útil dos equipamentos e componentes elétricos. Sendo assim, o sistema de supervisão serve como ferramentas na busca de inovação e soluções para medidas de eficiência energética.

## *Abstract*

The project aims at the implementation of a supervisory system of electric power at an Poultry Slaughtering and Processing Company located in Minas Gerais, in order to stratify, monitor and map consumption within the company. The cravings for increased operational efficiency and energy supply crises mean that more efficient ways of using it are sought. However, for the measures to be effective, it is indispensable that the way energy is used within the consumer units is known. Alongside this, there is a need to determine the quality of the energy that is delivered by the concessionaire, since this can influence the operation and the useful life of electrical equipment and components. Therefore, the supervisory system serves the tools in the search for innovation and solutions for energy efficiency measures.

## *Sumário*

1	Introdução.....	13
1.1	A Empresa .....	13
1.2	Estrutura Elétrica da Empresa .....	14
1.3	Motivação .....	16
1.4	Fator de Potência .....	18
1.5	Panorama energético no Brasil .....	20
1.6	Qualidade de Energia.....	21
1.6.1	Distorções na forma de onda .....	22
1.6.2	Transitórios.....	22
1.6.3	Variações de tensão de curta e longa duração .....	23
1.6.4	Desequilíbrios.....	23
1.7	Sistemas Supervisórios .....	23
1.8	Encargos Financeiros.....	24
1.9	Objetivo Geral .....	24
2	Materiais e Métodos .....	26
2.1	Automatização dos Bancos de Capacitores .....	26
2.2	Instalação do Sistema .....	29
2.3	Etapas de Implantação .....	35
3	Resultados e Discussões.....	36
4	Conclusões.....	40
	Referências Bibliográficas .....	41

## *Lista de Figuras*

Figura 1: Distribuição das Subestações .....	15
Figura 2: Fatura - Mercado Livre .....	16
Figura 3: Fatura - TUSD.....	17
Figura 4: Gastos com energia elétrica em 2016 .....	17
Figura 5: Gastos com energia elétrica em 2017 .....	18
Figura 6: Triângulo das Potências .....	19
Figura 7: Variação do PIB e variação do consumo de Energia (1998-2007).....	20
Figura 8: Potência instalada no Brasil .....	21
Figura 9: Onda distorcida com presença de harmônicos .....	22
Figura 10: Surto de tensão .....	23
Figura 11: Inspeção dos BC e retirada dos capacitores defeituosos.....	26
Figura 12: Controlador de Fator de Potência utilizado nos painéis.....	27
Figura 13: Esquema de ligação do controlador .....	27
Figura 14: Transformador de Corrente .....	29
Figura 15: Esquema de ligação entre os módulos .....	29
Figura 16: Supervisão dos medidores de energia junto à concessionária.....	30
Figura 17: Controle de Fator de Potência.....	31
Figura 18: Número de eventos que afetam a qualidade de energia .....	31
Figura 19: Tensão desbalanceada ao longo do dia .....	32
Figura 20: Exemplo de rateio de custos.....	32
Figura 21: Monitoramento de insumos a) Energia Elétrica; b) Água; c) Gás. ....	33
Figura 22: Relatório de fatura.....	34
Figura 23: Capacitores substituídos nos bancos .....	37

## *Lista de Tabelas*

Tabela 1: Relação entre potencia do transformador e dimensão do TC .....	28
Tabela 2: Etapas de implantação do projeto .....	35
Tabela 3: Status e orçamento das etapas do projeto .....	36
Tabela 4: Multas referentes à excesso de energia reativa.....	36
Tabela 5: Potência capacitiva em falta no sistema .....	37
Tabela 6: Capacitores substituídos .....	37

# ***1 Introdução***

A insuficiência de recursos naturais e o panorama econômico instável no país têm exigido medidas de minimização de custos e potencialização de investimentos, conduzindo à busca por maneiras mais eficientes de utilizar a energia.

Para que as ações que visam à eficiência energética sejam produtivas, é necessário conhecer como se dá a distribuição de energia dentro da empresa. O rastreamento detalhado do consumo de energia elétrica é importante, pois há muitas variáveis que influenciam diretamente no processo: variação do número de dias para medição, clima, novos equipamentos que são adicionados à rede, desligamentos programados para manutenção, variação da produção, etc. Sendo assim, o acompanhamento de consumo pelas concessionárias ao fim de cada mês não é suficiente para constituir uma base de dados concisa para auxiliar na tomada de decisões.

Uma maneira de mapear o uso de energia e averiguar os pontos críticos de consumo é através de sistemas de gerenciamento, que são sistemas de automação que coletam dados, em tempo real, desde a entrada de energia da concessionária até a distribuição às máquinas.

A implantação de projetos e programas de conservação e uso eficiente da energia nos segmentos industriais deve ser permanentemente estimulada, considerando-se os desafios que o setor energético vem enfrentando para atender a demanda no país e a forma como os custos de energia impactam no setor industrial.

## ***1.1 A Empresa***

A empresa em questão é uma unidade frigorífica de abatimento e processamento de aves. Do momento da chegada do frango à empresa até se tornar o produto final na mesa do consumidor, este passa por uma série de processos. [1]

Entre eles, pode-se citar:

- Recepção de aves;
- Pendura e abate;
- Escaldagem e depenagem;

- Evisceração;
- Miúdos;
- Cortes;
- Embalagem;
- Expedição.

Já no processamento da carne, tem-se a fabricação de produtos, tais quais salsicha, hambúrguer, espetinho de frango, espetinho de frango empanado, frango à passarinho, frango desfiado e cortes temperados.

As partes de frango que não são aproveitadas para consumo humano, como penas, sangue e vísceras, são enviadas à Fábrica de Farinhas e Óleos, conhecida também como graxaria, onde passam por um processo de secagem. A farinha e o óleo provenientes desse processo são enviados à Fábrica de Rações da mesma empresa, onde são transformadas em alimentos para as aves. [1]

## **1.2 Estrutura Elétrica da Empresa**

Na unidade da empresa em questão, a tensão de abastecimento é de 11,4kV e estão distribuídas em 3 subestações, vistas na Figura 1.

Os transformadores utilizados na empresa, em sua maioria, transformam a tensão recebida pela concessionária de 11,4kV para 380V. Porém, a Subestação 1 é excessão e transforma a tensão em 220V. Na Subestação 1, conta-se com um transformador 300kVA, que alimenta os prédios administrativos, almoxarifado, ambulatório, escola e lavanderia.

Responsável por alimentar toda a sala de máquinas e setores produtivos, a Subestação 2 é a maior instalada na empresa. Conta com 7 trafos, sendo 2 de 500kVA, 2 de 750kVA, 2 de 1000kVA e 1 de 1500kVA. O presente trabalho foi feito nos bancos de capacitores dessa subestação. Porém, apesar de possuir 7 transformadores, apenas 6 destes dispõem de bancos de capacitores.

Por último, na Subestação 3, tem-se três trafos, sendo estes de potência 1500kVA, 500kVA e 112,5kVA, onde são alimentados o pátio da expedição, a fábrica de óleo e farinhas e o setor de manutenção.

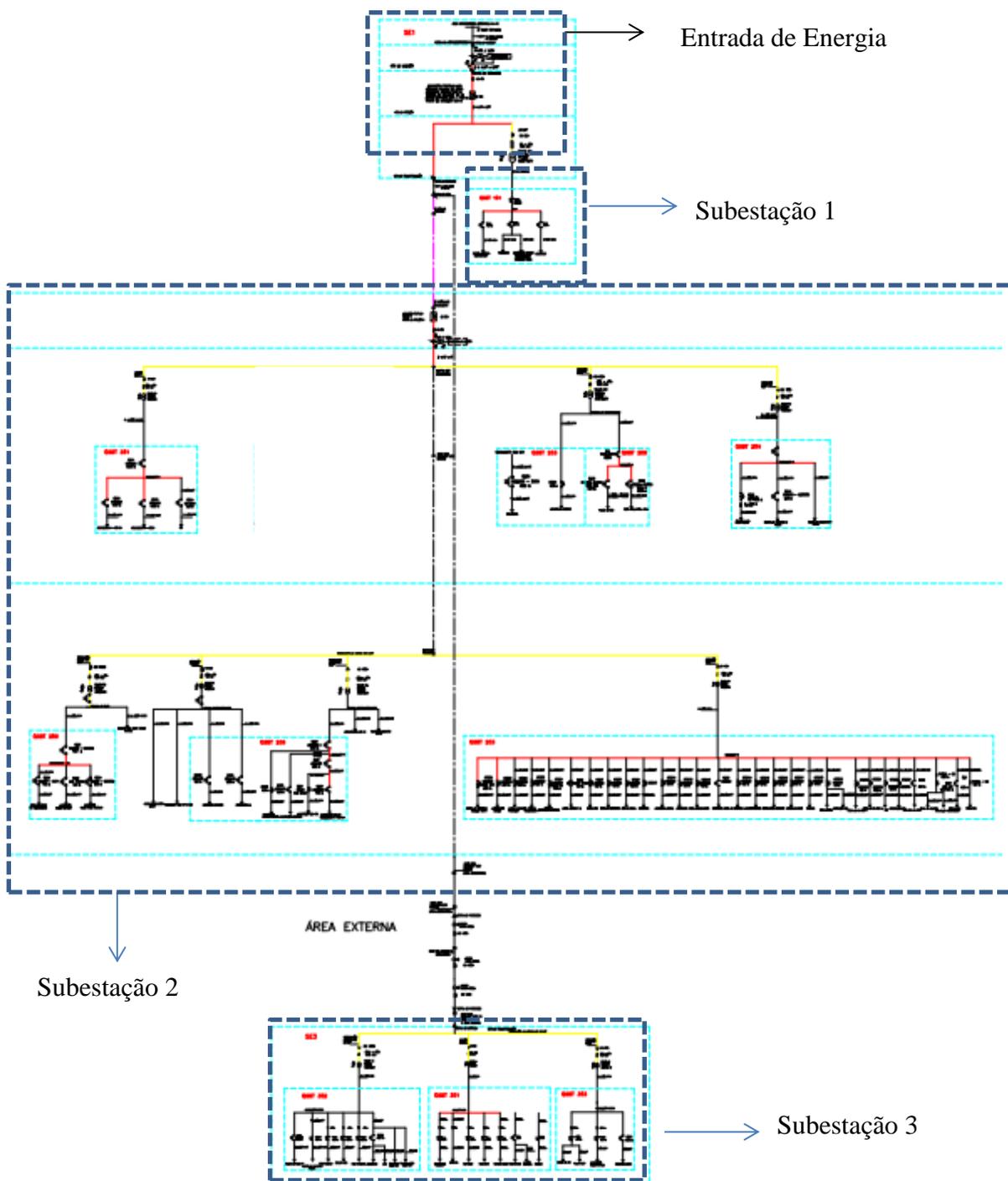


Figura 1: Distribuição das Subestações

### 1.3 Motivação

O valor a ser pago pela energia elétrica da unidade é a soma de duas contas: a energia comprada pelo mercado livre, mostrada na Figura 2, e a conta da TUSD - Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição, na Figura 3.

CÁLCULO DO IMPOSTO														
BASE DE CÁLCULO DO ICMS		VALOR DO ICMS		BASE DE CÁLCULO DO ICMS ST			VALOR DO ICMS ST		VALOR TOTAL DOS PRODUTOS					
0,00		0,00		781.974,22			140.755,36		641.218,86					
VALOR DO FRETE		VALOR DO SEGURO		DESCONTO		OUTRAS DESPESAS ACESSÓRIAS		VALOR TOTAL DO IPI		VALOR TOTAL DA NOTA				
0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		781.974,22				
TRANSPORTADOR/VOLUMES TRANSPORTADOS														
RAZÃO SOCIAL				FRETE POR CONTA		CÓDIGO ANTT		PLACA DO VEÍCULO		UF	CNPJ/CPF			
				0 - Emitente										
ENDEREÇO					MUNICÍPIO				UF	INSCRIÇÃO ESTADUAL				
QUANTIDADE		ESPÉCIE		MARCA		NUMERAÇÃO		PESO BRUTO		PESO LÍQUIDO				
DADOS DOS PRODUTOS/SERVIÇOS														
CÓDIGO	DESCRIÇÃO DO PRODUTO/SERVIÇO	OUTRAS DESPESAS	NCM/SH	CST	CFOP	UNID.	QUANTIDADE	VALOR UNITÁRIO	VALOR TOTAL	B. CÁLC. ICMS	B. CÁLC. ICMS ST	VALOR ICMS	VALOR ICMS ST	ALIQ. ICMS
001	Energia Elétrica	0,00	27160000	030	6252	MWh	2.616,1520	245,10000000000	641.218,86	0,00	781.974,22	0,00	140.755,36	0,00

Figura 2: Fatura - Mercado Livre

A demanda pelo projeto surgiu após análises das contas da TUSD – Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição - da unidade, Figura 3, onde foi verificada a ocorrência de multas causadas por energia reativa excedente, ultrapassagem de demanda contratada e energia não consumida.

Demonstrativo			
Descrição	Consumo	Tarifa	Valor
TUSD em kWh - Ponta	279.422,00	0,08322	23.254,03
TUSD em kWh - Fora Ponta	2.337.686,00	0,08322	194.546,71
Energia Reativa Excedente Livre - Ponta	2.028,00	0,33468	678,73
Energia Reativa Excedente Livre F Ponta	19.233,00	0,33468	6.436,93
TUSD em kW Medida - Ponta	4.493,52	58,64872	263.539,19
TUSD em kW Medida - Fora Ponta	4.627,23	20,55961	95.134,06
TUSD em kW Reativa Exced - Ponta	2,41	20,55961	49,54
TUSD em kW Reativa Exced - Fora Ponta	56,44	20,55961	1.160,38
Encargo de Conexão de Distribuição			1.273,22
<b>LANÇAMENTOS E SERVIÇOS</b>			
CREDITO DA TUSD KW - APCEI	01/2017		-134.941,14
DEBITO DA TUSD KW - APCEI	11/2016		95,16

ICMS	BASE DE CÁLCULO	ALÍQUOTA	VALOR (R\$)
	586.072,80	18,00%	105.493,10
PIS	586.072,80	1,2050%	7.062,17
COFINS		5,5504%	32.529,38

Reserva ao Fisco: 353d.c466.4a80.ead7.a8a1.6f4b.0dc5.749d

<b>VENCIMENTO</b>	<b>TOTAL A PAGAR</b>
<b>21/02/2017</b>	<b>R\$ 451.226,81</b>

Figura 3: Fatura - TUSD

Os resumos da estratificação das contas do ano de 2016 e 2017 podem ser vistos na Figura 4 e Figura 5.

GASTOS COM ENERGIA ELÉTRICA - FABRIL VRB - 2016												
Mês	Consumo MWh	Valor Total - Energia	Mercado Livre	TUSD	Reativa Exc. Livre - Ponta	Reativa Exc. Livre - Fora de Ponta	TUSD em kW não consumida - Ponta	TUSD em kW não consumida - Fora de Ponta	TUSD em kW - Reativa Exc. - Ponta	TUSD em kW - Reativa Exc. - Fora de Ponta	TUSD em kW - Ultrapassagem - Fora de Ponta	
Janeiro	2.492,87	R\$ 1.109.147,21	R\$ 784.340,45	R\$ 324.806,76	R\$ 629,09	R\$ 3.706,59	R\$ 2.810,64	R\$ 689,53	R\$ 453,40	R\$ 809,87		
Fevereiro	2.427,53	R\$ 1.162.543,72	R\$ 652.235,60	R\$ 510.308,12	R\$ 536,11	R\$ 5.076,78				R\$ 2.253,98		
Março	2.660,80	R\$ 1.195.724,37	R\$ 725.231,33	R\$ 470.493,04	R\$ 1.159,66	R\$ 5.890,47			R\$ 99,43	R\$ 125,42	R\$ 7.744,75	
Abril	2.467,80	R\$ 1.119.235,89	R\$ 666.336,90	R\$ 452.898,99	R\$ 1.017,43	R\$ 6.995,50			R\$ 1.068,38	R\$ 1.122,10	R\$ 7.542,28	
Mai	2.534,75	R\$ 1.114.547,62	R\$ 687.411,83	R\$ 427.135,79	R\$ 841,65	R\$ 6.313,20			R\$ 1.479,89		R\$ 7.974,18	
Junho	2.460,23	R\$ 1.169.514,74	R\$ 746.589,49	R\$ 422.925,25	R\$ 147,86	R\$ 3.452,62			R\$ 285,19	R\$ 742,26		
Julho	2.444,02	R\$ 1.145.776,64	R\$ 726.618,77	R\$ 419.157,87	R\$ 41,16	R\$ 1.888,37		R\$ 872,21				
Agosto	2.373,88	R\$ 1.073.369,01	R\$ 700.845,23	R\$ 372.523,78	R\$ 68,79	R\$ 970,46						
Setembro	2.254,03	R\$ 1.023.688,71	R\$ 657.765,32	R\$ 365.923,39	R\$ 131,75	R\$ 1.280,03						
Outubro	2.425,08	R\$ 1.150.689,52	R\$ 716.197,10	R\$ 434.492,42	R\$ 151,10	R\$ 3.801,96			R\$ 215,48	R\$ 160,57		
Novembro	2.299,23	R\$ 1.053.061,97	R\$ 671.878,40	R\$ 381.183,57	R\$ 147,20	R\$ 4.253,47						
Dezembro	2.418,25	R\$ 1.155.530,99	R\$ 712.763,27	R\$ 442.767,72	R\$ 267,74	R\$ 1.403,54					R\$ 10.355,97	
	2438,21	R\$ 1.122.735,87	R\$ 704.017,81	R\$ 418.718,06	R\$ 428,30	R\$ 3.752,75	R\$ 2.810,64	R\$ 780,87	R\$ 600,30	R\$ 869,03	R\$ 8.404,30	
TOTAL DE MULTAS EM 2016				R\$ 5.139,54	R\$ 45.032,99	R\$ 2.810,64	R\$ 1.561,74	R\$ 3.601,77	R\$ 5.214,20	R\$ 33.617,18	R\$ 96.978,06	

Figura 4: Gastos com energia elétrica em 2016

GASTOS COM ENERGIA ELÉTRICA - FABRIL VRB - 2017												
Mês	Consumo MWh	Valor Total - Energia	Mercado Livre	TUSD	Reativa Exc. Livre - Ponta	Reativa Exc. Livre - Fora de Ponta	TUSD em kW não consumida - Ponta	TUSD em kW não consumida - Fora de Ponta	TUSD em kW - Reativa Exc. - Ponta	TUSD em kW - Reativa Exc. - Fora de Ponta	TUSD em kW - Ultrapassagem - Fora de Ponta	TOTAL DE MULTAS NO MÊS
Janeiro	2.631,04	R\$ 1.238.837,36	R\$ 787.610,55	R\$ 451.226,81	R\$ 678,73	R\$ 6.436,93			R\$ 49,54	R\$ 1.160,38		R\$ 8.325,58
Fevereiro	2265,01	R\$ 1.088.062,19	R\$ 664.787,98	R\$ 423.274,21	R\$ 993,91	R\$ 7.220,39			R\$ 1.271,42	R\$ 423,67	R\$ 10.207,63	R\$ 20.117,02
Março	2.616,15	R\$ 1.241.157,33	R\$ 781.974,22	R\$ 459.183,11	R\$ 502,91	R\$ 8.238,93			R\$ 7,19		R\$ 9.257,61	R\$ 18.006,64
Abril		R\$ 399.161,34		R\$ 399.161,34	R\$ 20,99	R\$ 3.603,92						R\$ 3.624,91
Maio												R\$ -
Junho												R\$ -
Julho												R\$ -
Agosto												R\$ -
Setembro												R\$ -
Outubro												R\$ -
Novembro												R\$ -
Dezembro												R\$ -
		R\$ 991.804,56	R\$ 744.790,92	R\$ 433.211,37	R\$ 549,14	R\$ 6.375,04	#DIV/0!	#DIV/0!	R\$ 442,72	R\$ 792,03	R\$ 9.732,62	
TOTAL DE MULTAS EM 2017					R\$ 2.196,54	R\$ 25.500,17	R\$ -	R\$ -	R\$ 1.328,15	R\$ 1.584,05	R\$ 19.465,24	<b>R\$ 50.074,15</b>

Figura 5: Gastos com energia elétrica em 2017

Pode-se observar que apenas nos 4 primeiros meses de 2017 (Figura 5), pagou-se em multas o referente à quase 50% do total de multas de 2016 (Figura 4). A partir daí, notou-se que é necessário a intervenção de profissionais da engenharia elétrica para atuar e melhorar a eficiência energética da empresa em estudo. Sendo assim, criou-se a necessidade de conhecer a forma com que a energia é distribuída e utilizada dentro da empresa, a fim de planejar maneiras de tornar seu uso mais eficiente.

## 1.4 Fator de Potência

Em unidades industriais, equipamentos como motores, transformadores, lâmpadas de descarga, entre outros, consomem potência reativa indutiva, já que necessitam da criação de campo eletromagnético para seu funcionamento. Sendo assim, é necessário o uso de dois tipos de potências: ativa e reativa. [2]

A potência ativa é medida em watt (W) e é aquela que de fato realiza trabalho gerando calor, luz, movimento, etc. Já a potência reativa (Var) é utilizada apenas nas cargas indutivas para criar e manter os campos eletromagnéticos. [2]

A potência reativa não produz trabalho e ocupa espaço no sistema elétrico que poderia ser utilizado para fornecer mais energia ativa. A composição das duas formas de energia resulta na energia aparente ou total (VA) [3].

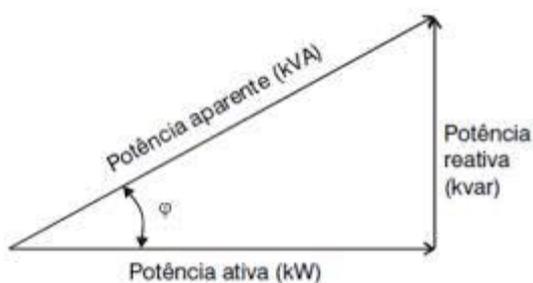


Figura 6: Triângulo das Potências

A relação entre a quantidade de potência ativa e reativa é chamada de fator de potência. O valor do FP, conforme Equação 1, é um número entre 0 e 1 que indica a eficiência no uso do energia e é calculado como sendo o cosseno do ângulo  $\varphi$  na Figura 6.

$$FP = \cos\varphi \quad (1)$$

Valores de fator de potência próximos a 1 indicam que está sendo utilizada pouca energia reativa em relação à energia ativa e que o sistema está trabalhando de forma eficaz, já que quase toda a potência está produzindo trabalho.

No Brasil, foi estabelecido pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) que o fator de potência das unidades consumidoras deve ser igual ou superior a 0,92. Valores abaixo desse limite resultam em aumento na corrente que circula no sistema, podendo sobrecarregar as subestações e linhas de distribuição, prejudicar a estabilidade dos sistemas, aumentar as perdas elétricas pelo aquecimento de condutores e equipamentos, quedas de tensão e subutilização da capacidade instalada. [4]

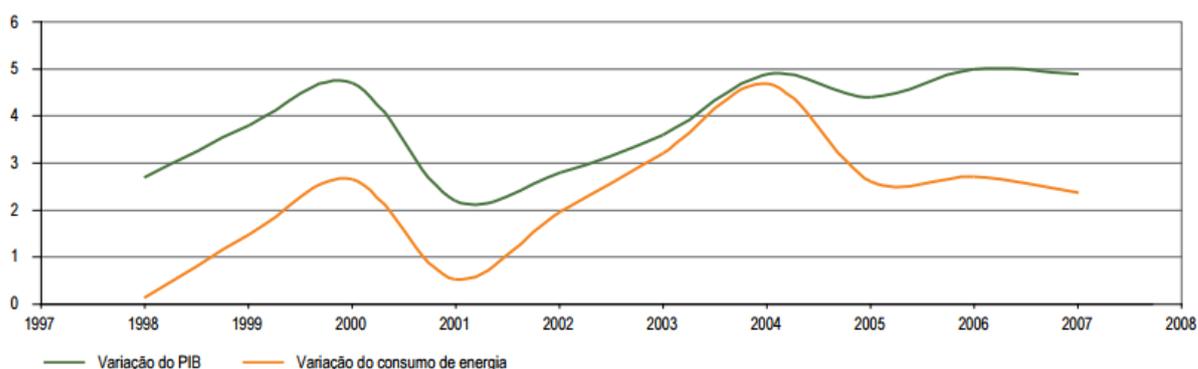
Para corrigir esse problema, são utilizados bancos de capacitores que elevam o fator de potência. Os bancos de capacitores são localizados nas subestações, conectados aos transformadores e dimensionados de acordo com as cargas na qual o trafo alimenta. Caso seja descumprido o limite imposto pela ANEEL e o excesso de energia reativa não seja corrigido, além dos contratemplos gerados para o sistema, há a cobrança de multas.

Essas multas podem ser geradas por vários fatores, dependendo de qual o tipo de consumidor a empresa se enquadra. Na empresa em questão, adotou-se o regime de mercado livre. Isso significa que a empresa pode negociar livremente todas as condições comerciais para o abastecimento de energia elétrica, como fornecedores, preços, volume, condições de

pagamento, etc. Se, por algum motivo, o volume de energia contratado não foi suficiente para suprir as necessidades da empresa ou, pelo contrário, foi contratada em excesso, é possível comprar ou vender essa energia no mercado spot. Caso não seja possível efetuar a transação no mercado spot, há multas também por energia não consumida. [5]

## 1.5 Panorama energético no Brasil

O consumo de energia reflete, em partes, o nível de qualidade de vida e o desenvolvimento econômico de um povo. Alto consumo de energia está diretamente ligado ao aquecimento dos setores industriais, comerciais e de serviços e o aumento da capacidade de aquisição da população. [6] A relação entre o PIB e o consumo de energia elétrica, está mostrado na Figura 7.



**Figura 7: Variação do PIB e variação do consumo de Energia (1998-2007)**

Fonte: Ipea, BP, 2008

A potência instalada no Brasil, em MW, vem aumentando anualmente, conforme visto na Figura 8. [7]

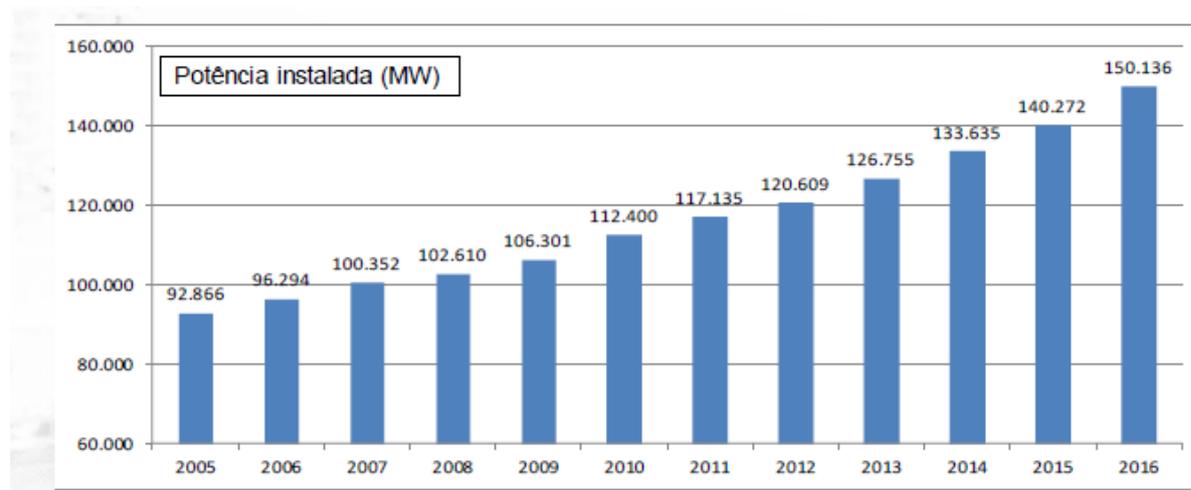


Figura 8: Potência instalada no Brasil

Tratando-se do setor industrial, que responde por quase metade do consumo de energia elétrica no Brasil, as ações para reduzir o consumo de energia devem ser bem mais incisivas. Em termos de competitividade, quanto mais energia for economizada, maior será o montante que poderá ser investido em inovação e ganho de produtividade. Sabemos que uma ação de eficiência energética é eficaz quando conseguimos produzir mais, com os recursos disponíveis ou a mesma quantidade, com menos recursos.

O consumo de energia elétrica no setor industrial em 2016 fechou com queda de 2,9% em relação a 2015, encerrando com 164.034 GWh. Um dos fatores que contribuíram para a queda foi à adoção em massa de medidas que visavam à diminuição do consumo dentro das empresas. Apesar da queda do setor, o consumo da indústria de produtos alimentícios cresceu 0,9% quando comparado a 2015. [8]

## 1.6 Qualidade de Energia

Entre os diversos elementos que influenciam na eficiência energética, um deles é a qualidade da energia que alimenta a rede. Qualquer perturbação na magnitude, forma de onda ou frequência que resulte em danos ou funcionamento indevido de equipamentos elétricos pode ser considerada perda na qualidade da energia.

Tanto a tensão quanto corrente, quando bem balanceadas, possuem uma forma de onda senoidal. Porém, existem alguns elementos que podem distorcer essa onda, gerando danos ao sistema elétrico.

### 1.6.1 Distorções na forma de onda

Uma perturbação em regime permanente da onda senoidal é caracterizada pelo seu conteúdo espectral. Entre as principais distorções, tem-se os harmônicos e ruídos.

Na Figura 9, tem-se, em azul, a forma de onda geral da tensão. Já em preto, tem-se a mesma onda, porém distorcida, já que há a presença de harmônicos. Os harmônicos são causados pela existência de cargas não lineares na rede (por exemplo: máquinas de solda, inversores de frequência, computadores, copiadoras, no breaks, etc.) [9]

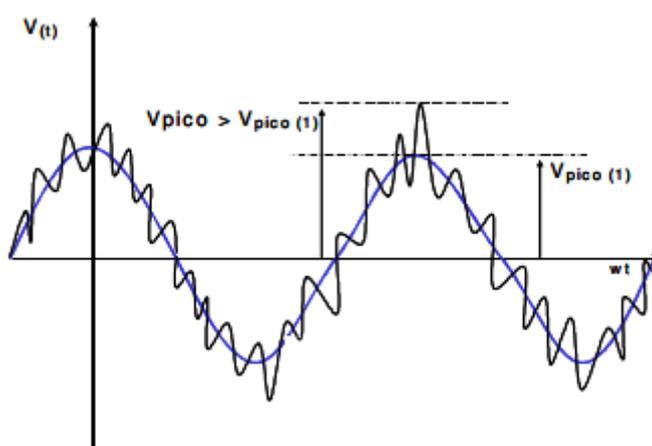


Figura 9: Onda distorcida com presença de harmônicos

### 1.6.2 Transitórios

Outro tipo de distorção que pode alterar o formato de onda e inferir diretamente na qualidade de energia são os transitórios. Os transitórios oscilatórios, mostrado na Figura 10, é causado por manobras no sistema elétrico, enquanto os transitórios impulsivos são causados por descargas atmosféricas próximas à rede. Ambos geram um pico de tensão e, caso a rede não tenha dispositivos de proteção suficientes ou filtros, podem causar danos aos dispositivos eletrônicos. [9]

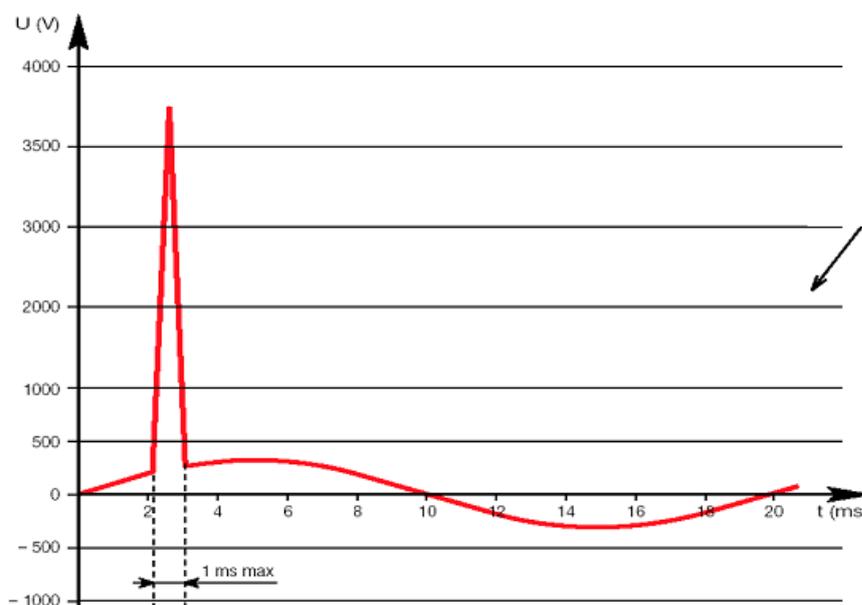


Figura 10: Surto de tensão

### 1.6.3 Variações de tensão de curta e longa duração

Variações de tensão podem ser causadas pela energização de grandes blocos de carga que requerem altas correntes de partida ou por falhas recorrentes nas conexões de cabos do sistema. Dependendo das condições do sistema, pode haver um afundamento ou elevação momentânea do sistema elétrico. Essas variações podem ser curtas ou longas, quando os fenômenos se mantêm no sistema por tempo superior a três minutos.[10]

### 1.6.4 Desequilíbrios

Em redes trifásicas, o desvio entre o máximo da média dividido pela média das correntes ou tensões são definidos como desequilíbrios. Grandes consumidores, quando estes possuem má distribuição de cargas, impõem correntes desequilibradas no circuito da concessionária. [10]

## 1.7 Sistemas Supervisórios

Com o passar dos anos o setor industrial investe cada vez mais em tecnologias que proporcionem aumentar a produtividade, diminuir o tempo de produção, diminuir custos e aumentar a qualidade dos produtos produzidos. Nesse cenário, os sistemas supervisórios vêm

ganhando a cada dia mais espaço, devido ao fato deles interligarem diferentes fases do processo produtivo, monitorarem o processo e disponibilizarem respostas em tempo real durante a realização dos processos.

Os sistemas de controle e supervisórios são desenvolvidos para atuar localmente em interfaces homem-máquina, ou em estações concentradoras de dados em processos distribuídos. Tais sistemas funcionam a partir de microcomputadores interligados a controladores programáveis, sensores, estações remotas dentre outros equipamentos que realizam a aquisição de dados [11]

## **1.8 Encargos Financeiros**

Em alguns casos, é possível haver reduções na conta de energia em processos industriais e um deles é a utilização do crédito de ICMS (Imposto de Circulação sobre Mercadorias e Serviços).

O ICMS incidente sobre a movimentação de mercadorias e serviços em geral, engloba vários segmentos, desde o ramo alimentício à serviços de transporte e comunicação. Cada estado tem autonomia para definir sua alíquota e, no caso de Minas Gerais, gira em torno de 18%.

A legislação federal permite que o imposto do ICMS da energia consumida nos processos de industrialização ou quando o consumo resultar em operação de saída ou prestação de serviços para o exterior seja retornado em forma de crédito para a empresa [12]. Para isso, é necessário haver a comprovação do rateio de energia em processos industriais e não industriais, que é passível de ser feita pelo sistema de gerenciamento. [13]

## **1.9 Objetivo Geral**

O presente trabalho tem como objetivo geral monitorar e gerenciar o uso da energia elétrica na unidade.

De maneira mais específica, o projeto propõe:

- Adequar e automatizar os bancos de capacitores;
- Criar rotina de inspeção dos bancos;

- Auxiliar na tomada de decisões;
- Evitar multas e encargos;
- Seguir normas vigentes;
- Propiciar mais segurança às instalações e redes.

## 2 *Materiais e Métodos*

### 2.1 *Automatização dos Bancos de Capacitores*

Primeiramente, foram realizadas análises da energia nos terminais secundários dos transformadores, que alimentam a rede elétrica de baixa tensão. Para tal, foram utilizados aparelhos portáteis analisadores de energia, que permitem mensurar a quantidade de energia ativa e reativa que está sendo consumida pelos equipamentos ligados ao alimentador.

Em seguida, foi feita a comparação entre a quantidade de energia reativa demandada para cada transformador e a potência de seu respectivo banco de capacitores. Nos casos onde o banco não estava adequadamente dimensionado, estimou-se a potência necessária, de acordo com a quantidade de cargas.

Concomitantemente, foi feita a inspeção de todos os bancos, a fim de verificar as condições de funcionamento de cada capacitor, assim como a situação dos comandos de acionamentos. Os bancos inspecionados estão mostrados na Figura 11. Nos casos onde os capacitores ou os dispositivos de comando apresentavam desvios, estes devem ser substituídos.



**Figura 11: Inspeção dos BC e retirada dos capacitores defeituosos**

Até então, todo o controle dos bancos é feito de forma semi-automática com a utilização de um LOGO – Módulo Lógico para Microautomação. Porém, os comandos são simples, servindo apenas para desligamentos aos finais de semana.

Para o controle automático do fator de potência foram utilizados controladores WEG FPW01 com 12 estágios, como mostrado na Figura 12.



Figura 12: Controlador de Fator de Potência utilizado nos painéis

Como cada banco conta com 12 células capacitivas, cada estágio corresponde a um capacitor e o esquema de ligação das saídas e alimentação, está representado pela Figura 13.

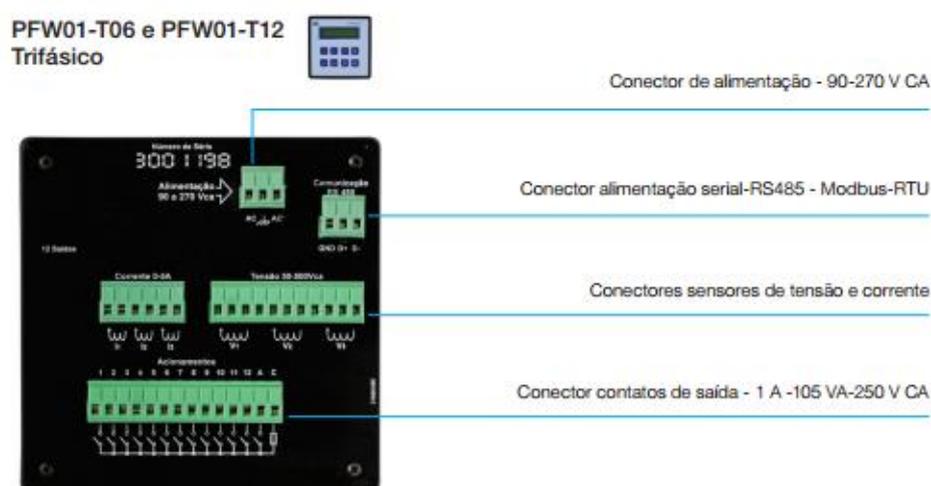


Figura 13: Esquema de ligação do controlador

Para a instalação dos controladores FPW01 foi necessário a utilização de transformadores de corrente nos secundários dos transformadores da Subestação 2. Os TC's transformam a corrente nominal de fase do transformador em 5A, a fim de alimentarem os controladores.

No dimensionamento dos TC's, utilizou-se a Equação 2 para calcular a corrente nominal:

$$I_p = \frac{S}{V} \quad (2)$$

Onde  $S$  é a potência do transformador,  $V$  é a tensão do secundário e  $I_n$  é a corrente máxima nominal.

A relação de TC's que foram necessários para a instalação está mostrada na Tabela 1.

**Tabela 1: Relação entre potencia do transformador e dimensão do TC**

Transformador	Potência (kVA)	Corrente Nominal	TC
02	1500	2281A	3000/5A
03	500	760A	1000/5A
04	500	760A	1000/5A
05	1000	1521A	2000/5A
06	750	1140A	2000/5A
10	1000	1521A	2000/5A

Devido à grande quantidade de cabos no secundário do transformador, já que a distribuição de cargas não é feita em um único painel, foi necessário utilizar TC's com grandes janelas, como a Figura 14.



Figura 14: Transformador de Corrente

## 2.2 Instalação do Sistema

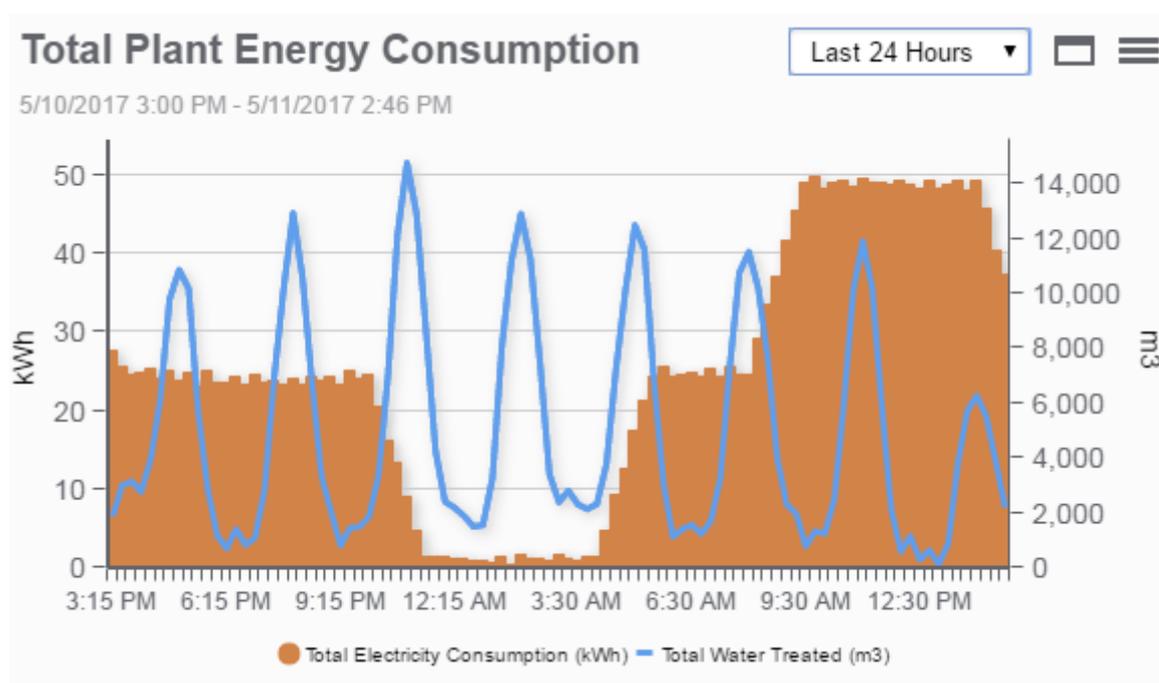
Para que o sistema funcione, é feita a instalação de módulos gerenciadores, analisadores e controladores, conforme Figura 15. Para a troca de informação entre eles, todos os módulos utilizam o protocolo de comunicação RS485 Modbus RTU. Também há a opção de utilizar o módulo de transferência de dados através de rede sem fio



Figura 15: Esquema de ligação entre os módulos

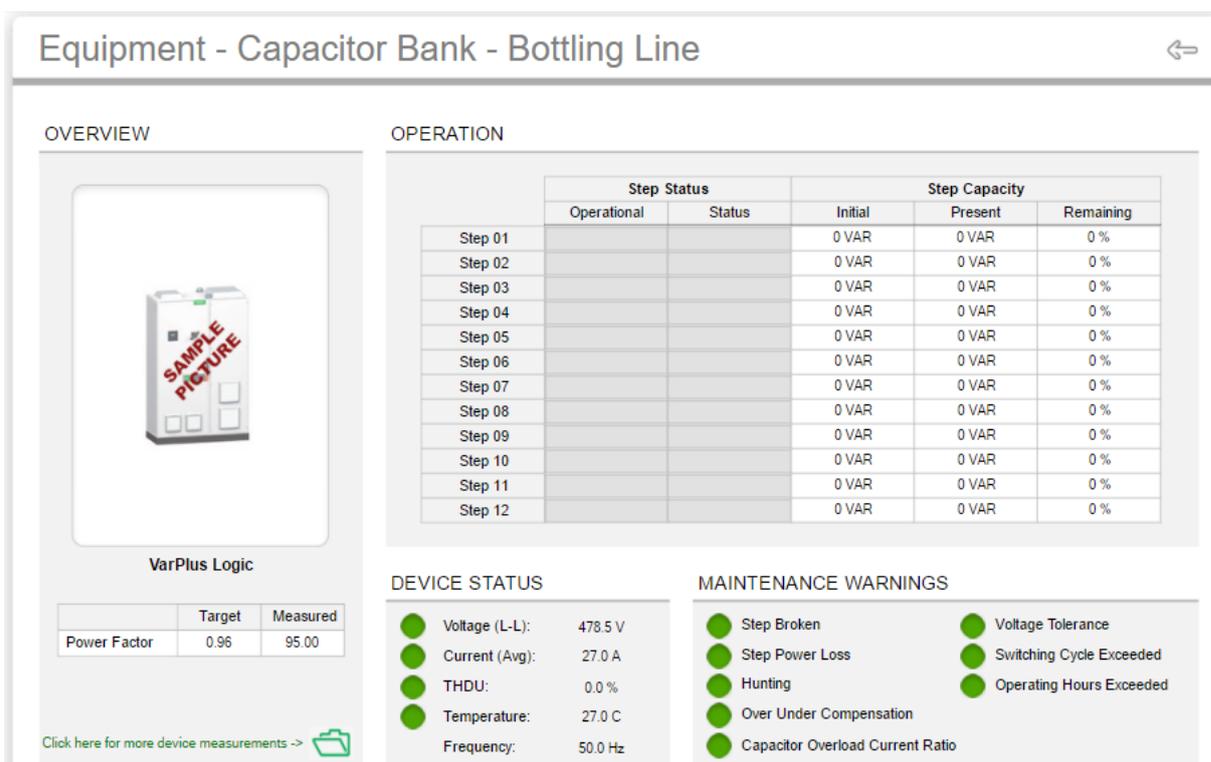
O módulo gerenciador é o concentrador universal de instrumentos. Possui portas de comunicação que permitem a medição de energia junto à concessionária para consumidores livres e cativos, como na Figura 16. Para a leitura da quantidade de energia fornecida pela concessionária é utilizado um conversor de pulsos ABNT, que é o responsável por traduzir as informações do relógio para o módulo gerenciador. A comunicação com o sistema de monitoramento é feita através de rede Ethernet. A coleta de dados é feita a cada 15 minutos e forma uma memória de massa de 35 dias contínuos.

As telas do sistema apresentadas são imagens meramente ilustrativas, não representando o sistema em funcionamento na empresa, já que este ainda está em fase de implantação.



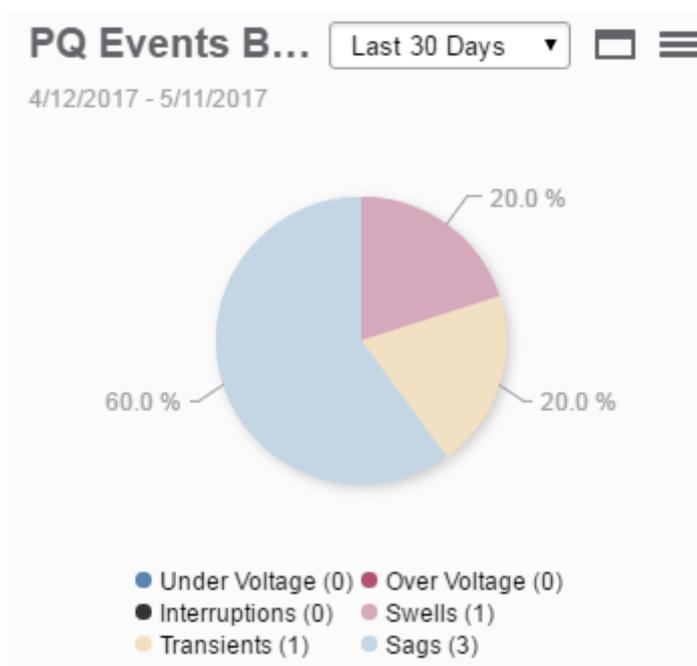
**Figura 16: Supervisão dos medidores de energia junto à concessionária**

Através do gerenciador também é feito a leitura de dados do controlador de fator de potência da Figura 12. Com isso, é possível observar, além do fator de potência daquele banco, o funcionamento de cada capacitor, conforme Figura 17.



**Figura 17: Controle de Fator de Potência**

O módulo analisador, também conectado ao gerenciador, fornece informação acerca da qualidade da energia recebida pela concessionária. Através dele é possível analisar a quantidade de eventos que causaram possíveis perturbações na rede, exemplificado pela Figura 18.



**Figura 18: Número de eventos que afetam a qualidade de energia**

É feito também o acompanhamento horário da qualidade da tensão recebida, como possíveis desbalanceamentos, como mostrado na Figura 19, o efeito da existência de harmônicos na rede, afundamentos de tensão, surtos e transitórios.

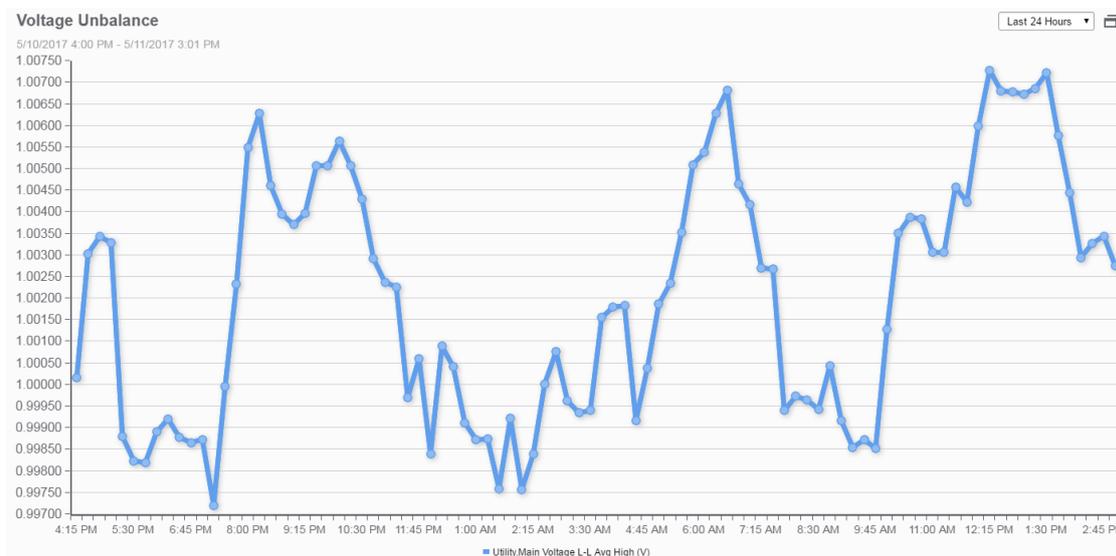


Figura 19: Tensão desbalanceada ao longo do dia

Utilizando o módulo de medição setorial conectado ao barramento dos painéis elétricos é possível gerenciar e estratificar o consumo de energia dentro de cada centro de custo, como visto na Figura 20. Assim, consegue-se identificar gargalos dentro da produção, permitindo traçar planos de manutenção preventiva e substituição dos equipamentos que apresentam elevado consumo.

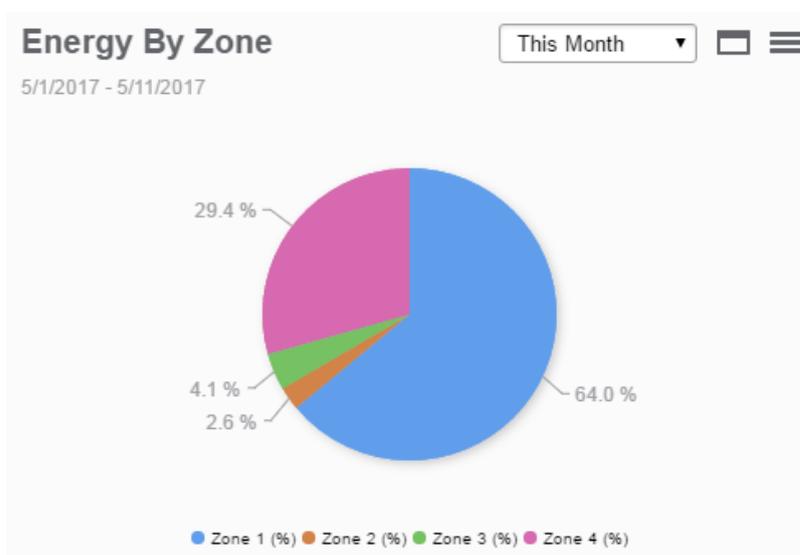
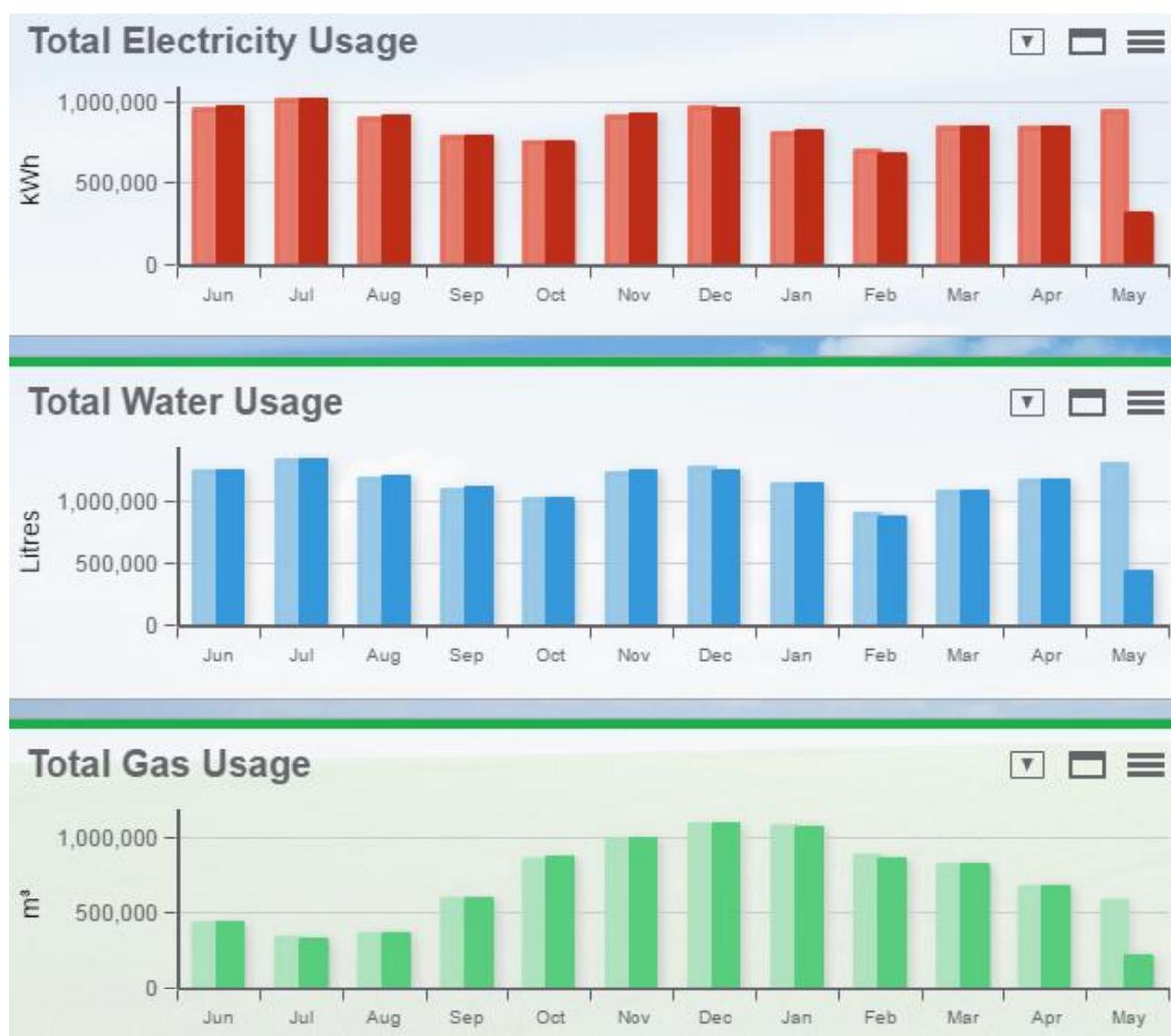


Figura 20: Exemplo de rateio de custos

Quando se fala de eficiência energética, além da energia elétrica, outros insumos são englobados, tais como água, gás, ar comprimido, vapor. Além de fazer o monitoramento da parte elétrica, o sistema permite fazer a instalação de medidores para outros tipos de insumos. Dessa forma, como mostrado na Figura 21, é feito o acompanhamento do consumo destes.



**Figura 21: Monitoramento de insumos a) Energia Elétrica; b) Água; c) Gás.**

O sistema supervisor é um software para computador que faz a aquisição dos dados coletados pelo gerenciador, armazena e processa-os, permitindo o monitoramento em tempo real dos diversos pontos conectados ao sistema. Através dele, é possível configurar alarmes para casos onde haja imprevistos, como sobrecargas da rede, ultrapassagens de demanda, etc., chamando a atenção do operador para situações onde seja necessária alguma intervenção. Além disso, é possível acompanhar o histórico de consumo detalhado da unidade ou de ocorrências, desde que o sistema foi instalado.

As informações geridas pelo supervisor possui, além de diferentes níveis de acesso, a existência de senhas pessoais. Assim, é possível rastrear o responsável por quaisquer alterações feitas na configuração do sistema.

Além da segurança do processamento em tempo real, o processamento de dados através de uma interface gráfica auxilia na apuração rápida de informações.



## Billing Summary Report

Billing Period: 2015-03-01 12:00:00 AM - 2015-04-01 12:00:00 AM (Server Local)

Tenant	Item	Units	Unit Cost	Cost
<b>ABC Soft</b>	Energy Consumption Charge			
<b>Victoria_Keating.main_7650 (24 %)</b>	Victoria_Keating.main_7650 (24 %): 44,929.32 kWh	44,929.32 kWh	\$0.05762	<b>2,588.83</b>
<b>Example Rate - Basic</b>	Peak Demand Charge [ABC Soft Peak @ 2015-03-01 2:00 PM] Victoria_Keating.main_7650 (24 %): 81.17 kW	81.17 kW	\$6.89	<b>559.29</b>
	Processing Fee			<b>20.00</b>
			<b>Total</b>	<b>\$3168.12</b>
<b>ACME Technology</b>	Energy Consumption Charge			
<b>Victoria_Keating.main_7650 (32 %)</b>	Victoria_Keating.main_7650 (32 %): 59,905.76 kWh	59,905.76 kWh	\$0.05762	<b>3,451.77</b>
<b>Example Rate - Basic</b>	Peak Demand Charge [ACME Technology Peak @ 2015-03-01 2:00 PM] Victoria_Keating.main_7650 (32 %): 108.23 kW	108.23 kW	\$6.89	<b>745.72</b>
	Processing Fee			<b>20.00</b>
			<b>Total</b>	<b>\$4217.49</b>
<b>Apex Co.</b>	Energy Consumption Charge			
<b>Victoria_Keating.main_7650 (16 %)</b>	Victoria_Keating.main_7650 (16 %): 29,952.88 kWh	29,952.88 kWh	\$0.05762	<b>1,725.88</b>
<b>Example Rate - Basic</b>	Peak Demand Charge [Apex Co. Peak @ 2015-03-01 2:00 PM] Victoria_Keating.main_7650 (16 %): 54.12 kW	54.12 kW	\$6.89	<b>372.86</b>
	Processing Fee			<b>20.00</b>
			<b>Total</b>	<b>\$1987.58</b>
<b>Pinnacle Inc</b>	Energy Consumption Charge			
<b>Victoria_Keating.main_7650 (10 %)</b>	Victoria_Keating.main_7650 (10 %): 18,720.55 kWh	18,720.55 kWh	\$0.05762	<b>1,078.68</b>
<b>Example Rate - Basic</b>	Peak Demand Charge [Pinnacle Inc Peak @ 2015-03-01 2:00 PM] Victoria_Keating.main_7650 (10 %): 33.82 kW	33.82 kW	\$6.89	<b>233.04</b>
	Processing Fee			<b>20.00</b>
			<b>Total</b>	<b>\$1331.72</b>
<b>Grand Total</b>				<b>\$12,823.65</b>

Figura 22: Relatório de fatura

Como exemplificado na Figura 22, o sistema permite a emissão de relatórios, simulação de faturas, divisão das contas por setor, etc. Assim, é possível ter informações detalhadas a respeito do consumo.

## 2.3 Etapas de Implantação

A implantação do projeto foram divididas em etapas, afim de facilitar o andamento das ações e minimizar falhas. As subdivisões das etapas podem ser vistas detalhadamente na Tabela 2, que foi feita através do software ProjectMS

**Tabela 2: Etapas de implantação do projeto**

<b>Nome da Tarefa</b>	<b>Duração</b>	<b>Início</b>	<b>Término</b>
<b>Inspeção dos Bancos de Capacitores</b>	<b>11 dias</b>	<b>Seg 20/03/17</b>	<b>Seg 03/04/17</b>
Inspeção e Relatório	11 dias	Seg 20/03/17	Seg 03/04/17
<b>Adequação dos Bancos de Capacitores</b>	<b>65 dias</b>	<b>Seg 20/03/17</b>	<b>Sex 16/06/17</b>
Levantamento de Dados	11 dias	Seg 20/03/17	Seg 03/04/17
Requisição de Compras	3 dias	Ter 04/04/17	Qui 06/04/17
Compra dos Materiais	15 dias	Sex 07/04/17	Qui 27/04/17
Entrega dos Materiais	20 dias	Sex 28/04/17	Qui 25/05/17
Instalação dos Capacitores	15 dias	Seg 29/05/17	Sex 16/06/17
<b>Dispositivos de Controle</b>	<b>45 dias</b>	<b>Seg 15/05/17</b>	<b>Dom 16/07/17</b>
Levantamento de Dados	2 dias	Seg 15/05/17	Ter 16/05/17
Requisição de Compras	3 dias	Qua 17/05/17	Sex 19/05/17
Compra dos Materiais	15 dias	Seg 22/05/17	Sex 09/06/17
Entrega dos Materiais	15 dias	Seg 12/06/17	Sex 30/06/17
Adequação dos Painéis	15 dias	Seg 29/05/17	Sex 16/06/17
<b>Instalação dos TC's</b>	<b>25 dias</b>	<b>Dom 11/06/17</b>	<b>Dom 16/07/17</b>
<b>Sistema de Monitoramento</b>	<b>40 dias</b>	<b>Seg 29/05/17</b>	<b>Sex 21/07/17</b>
Cadastro dos Materiais	2 dias	Seg 29/05/17	Ter 30/05/17
Requisição de Compras	3 dias	Qua 31/05/17	Sex 02/06/17
Compra dos Materiais	15 dias	Seg 05/06/17	Sex 23/06/17
Entrega dos Materiais	15 dias	Seg 26/06/17	Sex 14/07/17
Instalação do Sistema	3 dias	Seg 17/07/17	Qua 19/07/17
Teste do sistema	2 dias	Qui 20/07/17	Sex 21/07/17

### 3 Resultados e Discussões

Com o desenvolvimento do projeto “Gestão de Energia”, a expectativa é de que seja possível mensurar e estratificar os dados acerca do uso de energia elétrica na filial de Visconde do Rio Branco.

O custo estimado para a implantação do projeto, contemplando a priori o rateio de contas para 4 setores a serem escolhidos posteriormente, é de aproximadamente R\$60.000,00, como pode ser visto na Tabela 1Tabela 3.

**Tabela 3: Status e orçamento das etapas do projeto**

<b>Etapa</b>	<b>Custo</b>	<b>Progresso</b>
Inspeção dos Bancos de Capacitores	R\$0,00	100% concluído
Adequação e Compra de novos Capacitores	R\$ 12.000,00	100% concluído
Dispositivos de Controle	R\$10.000,00	80% concluído
Instalação do Sistema de Monitoramento	R\$30.000,00	50% concluído
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 62.000,00</b>	<b>82% concluído</b>

Após a primeira etapa do projeto em março de 2017, que consistia na inspeção e adequação dos comandos de acionamentos, como trocas de contadores, disjuntores e substituição de cabos, obteve-se a redução de multas, como observado na Tabela 4.

**Tabela 4: Multas referentes à excesso de energia reativa**

<b>Mês</b>	<b>Multa – Potência Reativa</b>
Janeiro	R\$ 6.436,93
Fevereiro	R\$7.220,39
Março	R\$ 8.238,93
Abril	R\$ 3.603,92

A segunda etapa, concluída em 09 de Junho de 2017, consiste na substituição de capacitores que apresentaram defeito nos bancos. Os capacitores defeituosos correspondiam a cerca de 40% da potência capacitiva total instalada, conforme Tabela 5.

**Tabela 5: Potência capacitiva em falta no sistema**

Potência Capacitiva Total Instalada	Potência em Falta
1855 kVAr	870 kVAr

Isso corresponde à substituição dos capacitores listados na Tabela 6.

**Tabela 6: Capacitores substituídos**

Quantidade	Potência
8	35kVAr
12	30kVAr
5	20kVAr
2	15kVAr

Na Figura 23 podem ser vistos os capacitores cilíndricos que foram instalados em substituição dos capacitores defeituosos.



**Figura 23: Capacitores substituídos nos bancos**

Sendo a conclusão dessa etapa recente, os dados referentes a essa ação e à influência delas na conta de energia ainda não foram mensurados.

Por ser um projeto de grande porte, até a entrega deste trabalho, algumas etapas não se encontravam finalizadas, como por exemplo, a instalação do sistema gerenciador. Possuímos para essa etapa, até o momento, apenas resultados esperados.

O sistema de gerenciamento, juntamente com a automatização dos bancos de capacitores, auxiliaria na redução de custos, evitando multas geradas pelo baixo fator de potência e ultrapassagens de demanda. Ainda no âmbito financeiro, com o rateio de energia, seria possível alocar o valor real gasto de energia nos setores, a fim de tornar mais confiável as análises de custos do produto. Já na parte fiscal, é possível extrairmos os dados de consumo de energia da fábrica de óleo e farinha e utilizar o valor referente crédito ICMS para compra de maquinário e frota.

Através do módulo analisador, é feita a apuração da qualidade da energia que é entregue à empresa pela concessionária. Com isso, têm-se informações suficientes para confrontar a concessionária em caso de cláusulas de contrato não respeitadas ou por problemas no sistema de transmissão antes da energia chegar à cabine primária.

Com o monitoramento e controle da tensão, sucede-se o prolongamento da vida útil dos componentes elétricos, o aumento da capacidade dos equipamentos de manobra e do sistema de transmissão, diminuição das ocorrências de aquecimentos causados pelo Efeito Joule e pela corrente reativa na rede elétrica.

Além disso, o sistema auxilia na tomada de decisões, desde a alteração em preços de produtos até modificações em contratos com as concessionárias no mercado livre. Isso se dá já que, através do banco de dados, o sistema emite gráficos e relatórios analíticos de utilização de energia, rateio da conta por setores, relatórios de consumos horários, previsões de custos para o próximo mês, etc.

Além da gestão da energia elétrica, o sistema pode passar por um processo de expansão e permite a adição de módulos de controle e monitoramento de outros insumos, como vapor, água, ar comprimido, entre outros. Sendo assim, temos um sistema completo ao que diz respeito à eficiência energética, não sendo limitado apenas à eletricidade.

Outro benefício da implementação do sistema de gestão de energia é a possibilidade de obtenção da certificação ISO 50001. Uma certificação desse tipo traz vantagens que vão além da eficiência energética, sustentabilidade e redução de custos. Ela

agrega reconhecimento à organização tanto do mercado, que vê as normas da ISO como referência de melhores práticas, quanto do contingente interno, que facilita o processo de gestão de equipes e incentiva a continuidade do exercício de boas práticas dentro da empresa.

## **4 Conclusões**

Com a instalação parcial do sistema, pode-se perceber que já foram obtidos resultados satisfatórios, como a redução de multas. Após a instauração completa, através do mapeamento de consumo dentro da unidade será possível ter informações robustas a respeito do consumo e da qualidade, além de traçar estratégias para o uso eficiente de insumos, contribuindo para a melhoria da eficiência dos processos e equipamentos, minimização do impacto ambiental causado pelas instalações de geração, transmissão e distribuição de energia, além da melhoria da produtividade e da competitividade dos produtos.

O projeto, apesar de ter sido concebido focado na unidade, é passível de ser expandido para as outras filiais. Sendo assim, através de acesso remoto e monitoramento via web, serão possíveis que setores corporativos tenham acesso em tempo real à utilização da energia elétrica (e, posteriormente, outros insumos) em todas as unidades e aos seus respectivos históricos. Portanto, além de monitoramento e gerenciamento a nível local, o sistema de gestão permite a aquisição de dados de toda a empresa feita através de uma única plataforma, facilitando o fluxo de informações e auxiliando no planejamento de medidas que contemplem o aumento da eficiência energética na empresa como um todo.

## ***Referências Bibliográficas***

- [1] Ferroli, P. C. M, Librelotto, L. I, Fiod Neto, M. Fábrica de Subprodutos de Origem Animal: O problema da falta de padronização das cargas dos digestores de vísceras. ENEGEP, Niterói, 1998.
- [2] Bordim, J. R. G. Instalação de bancos de capacitores em sistemas de distribuição de energia elétrica para correção do fator de potência e regulação da tensão: projeto e simulação computacional. Universidade de São Paulo. São Carlos : s.n., 2011. Trabalho de Conclusão de Curso.
- [3] COPEL. Fator de Potência: como transformá-lo em um fator de economia. [Online] [Citado em: 20 de Fevereiro de 2017.]  
[http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/fator\\_de\\_potencia/\\$FILE/fator\\_potencia.pdf](http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/fator_de_potencia/$FILE/fator_potencia.pdf).
- [4] Elektro. Energia Ativa e Reativa. [Online] [Citado em: 20 de Fevereiro de 2017.]  
<https://www.elektro.com.br/seu-negocio/energia-ativa-e-reativa>.
- [5] Associação Brasileira Dos Comercializadores de Energia – ABRACEEL. Cartilha Mercado Livre de Energia Elétrica: um guia básico para consumidores potencialmente livres e especiais. 2016.
- [6] Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Atlas Parte I: Energia no Brasil e no Mundo. 2008.
- [7] Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. Informações Gerenciais. Dezembro de 2016.
- [8] Empresa de Pesquisa de Energia - EPE. Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica. Empresa de Pesquisa de Energia. [Online] Janeiro de 2017. [Citado em: 21 de Fevereiro de 2017.] [www.epe.gov.br](http://www.epe.gov.br).
- [9] Garcia, F.R. Harmônicos em Sistemas Elétricos de Potência. IESA. [Online] [Citado em: 02 de Março de 2017.] [http://www.iesa.com.br/institucional/pdf/pdf\\_reativa/ap\\_harmonicosepcap.pdf](http://www.iesa.com.br/institucional/pdf/pdf_reativa/ap_harmonicosepcap.pdf).
- [10] Santos, F. M. F. Qualidade de Energia – Comparação das Normas IEC 61000-3-2 e IEC 61000-3-3. UFRJ. Rio de Janeiro, 2007.
- [11] Seixas Filho, C. A produção em foco. In: Scantech News, Rio de Janeiro, 1999.
- [12] Gunji, M. Dúvidas a respeito do crédito de ICMS de energia elétrica. Energycenter. [Online] [Citado em: 21 de Fevereiro de 2017.] <http://www.energycenter.com.br/duvidas-a-respeito-do-credito-de-icms-de-energia-eletrica/>.
- [13] Lunelli, R.L. Créditos de ICMS - Energia Elétrica. Portal Tributário. [Online] [Citado em: 21 de Fevereiro de 2017.] <http://www.portaltributario.com.br/artigos/creditoicmsenergia.htm>.