



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

JOSÉ VICTOR OLIVEIRA VILARDO

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA
UNIDADE DE TRATAMENTO SIMPLIFICADA DE ÁGUA**

Palmas/TO
2020

JOSÉ VICTOR OLIVEIRA VILARDO

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA
UNIDADE DE TRATAMENTO SIMPLIFICADA DE ÁGUA**

Monografia foi avaliada e apresentada à UFT –
Universidade Federal do Tocantins – Campus
Universitário de Palmas, Curso de Engenharia
Elétrica para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Elétrica e aprovada em sua forma final
pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientadora: MSc Gisele Souza Parmezzani
Marinho

Palmas/TO
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

V697a Vilardo, José Victor Oliveira .

Análise da eficiência energética de uma unidade de tratamento simplificada de água . / José Victor Oliveira Vilardo. – Palmas, TO, 2020.
50 f.

Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Engenharia Elétrica, 2020.

Orientadora : Gisele Souza Parmezani Marinho

1. Saneamento . 2. Eficiência energética. 3. Tarifa. 4. Energia elétrica. I.
Título

CDD 621.3

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

FOLHA DE APROVAÇÃO

JOSÉ VICTOR OLIVEIRA VILARDO

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA UNIDADE DE TRATAMENTO SIMPLIFICADA DE ÁGUA

Monografia foi avaliada e apresentada à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas, Curso de Engenharia Elétrica para obtenção do título de Bacharel e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data de aprovação: 05/08/2020

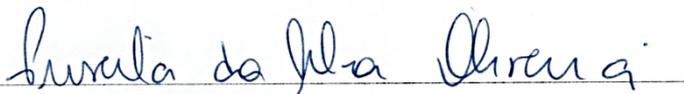
Banca Examinadora



Profª. Me. Gisela Souza Parmezani Marinho, UFT



Prof. Me. Alcy Monteiro Júnior, UFT.



Profª Dra. Priscila da Silva Oliveira.

Palmas-TO, 2020

Dedico este trabalho aos meus pais Rosângela Vilaro e José Francisco Vilaro, ao irmão Luiz Gustavo, aos meus amigos e a todos que me incentivaram durante minha graduação.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pelo dom da vida, por me dar saúde, força e motivação para procurar sempre alcançar meus objetivos e superar as dificuldades.

Aos meus pais, Rosângela Vilaro e José Francisco Vilaro, pelo amor, carinho e dedicação que sempre tiveram comigo, por sempre acreditarem no meu potencial e me incentivarem a ser sempre a minha melhor versão.

A todos meus familiares, em especial meu irmão Luiz Gustavo Vilaro e as minhas avós Fátima Oliveira e Lucila Sarmiento.

Ao meu Sensei Luís Sergio Papa por ser meu segundo pai e por me apresentar o judô, esporte que me moldou como pessoa.

A minha professora orientadora MSc. Gisele Sousa Parmezani Marinho, pelo apoio e auxílio durante toda a elaboração deste trabalho de conclusão de curso.

A todos meus amigos e amigas que estiveram comigo durante minha graduação, em especial a Nathália Marque, Gabriel Aiúde e Ítalo Barbosa.

Por fim, obrigado a todos que contribuíram diretamente e indiretamente para a realização deste trabalho.

*“Somente se aproxima da perfeição quem
a procura com constância, sabedoria e,
sobretudo humildade.”*

Jigoro Kano

RESUMO

O setor de saneamento básico é um dos maiores consumidores de energia elétrica do Brasil, representando cerca de 2,7% do consumo total no ano de 2017. Com as recentes crises energéticas, é fundamental a busca por alternativas que reduzam o consumo de energia elétrica e conseqüentemente reduza os custos para as empresas de saneamento. Para essa redução podem ser adotadas medidas de eficiência operacional e medidas administrativas, sendo a última responsável por proporcionar uma economia significativa na fatura de energia sem alterar o funcionamento operacional da unidade. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar por meio da criação de um simulador tarifário, as reduções geradas pela correção da demanda contratada e do correto enquadramento tarifário junto a concessionária de energia. A análise foi feita em uma Unidade de Tratamento Simplificada de Água constituída por três unidades consumidoras separadas, todas enquadradas no grupo A3a (30 a 44 kV), modalidade horária verde. O estudo de caso avaliou os valores de consumo de energia elétrica no horário de ponta, fora ponta e as demandas medidas no período de um ano por meio das faturas de energia elétrica.

Palavras-chaves: Saneamento. Eficiência Energética. Tarifa.

ABSTRACT

The basic sanitation sector is one of the largest consumers of electric energy in Brazil, representing about 2.7% of total consumption in 2017. With the recent energy crises, it is essential to search for alternatives that reduce electricity consumption and consequently reduce costs for sanitation companies. For this reduction, operational efficiency measures and administrative measures can be adopted, the latter being responsible for providing significant savings in the energy bill without changing the operational functioning of the station. In this context, the objective of this study was to evaluate, through the creation of a tariff simulator, the reductions generated by the correction of the contracted demand and the correct tariff structure with the energy concessionaire. The analysis was made on a Simplified Water Treatment Station consisting of three separate consumer units, all of which framed in group A3a (30 to 44 kV), green structure. The case study evaluated the values of electricity consumption during peak hours, outside peak hours and the demands measured over a period of one year through electricity bills.

Keywords: Basic Sanitation. Energy Efficiency. Tariff.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 - Tarifa Vigente – ENERGISA - TO 2019.....	21
Quadro 2 - Dados utilizados.....	38
Quadro 3 - Comparação entre as tarifas.	40
Figura 1 - Triângulo de Potência.....	23
Figura 2 - Esquemático Operacional.....	26
Figura 3 - Gráfico do consumo fora da ponta – unidade 1.....	28
Figura 4 - Gráfico do consumo na ponta – unidade 1.	28
Figura 5 - Gráfico da demanda medida – unidade 1.	29
Figura 6 - Gráfico do consumo fora ponta – unidade 2.....	30
Figura 7 - Gráfico do consumo ponta -unidade 2.....	31
Figura 8 - gráfico da demanda medida – unidade 2.	31
Figura 9 - Gráfico do consumo fora ponta – unidade 3.....	33
Figura 10 - Gráfico do consumo ponta – unidade 3.	33
Figura 11: Gráfico da demanda medida – unidade 3.	34
Figura 12 - Fluxograma da análise computacional.....	38
Figura 13 - Comparação entre as demandas – unidade 1.....	41
Figura 14 - Comparativo entre as faturas – unidade 1.....	41
Figura 15 - Comparação entre as demandas – unidade 2.....	43
Figura 16 - Comparativo entre as Faturas – unidade 2.....	43
Figura 17 - Comparação entre as demandas – unidade 3.....	44
Figura 18 - Comparativo entre as faturas – unidade 3.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Histórico de consumo – Unidade 1.	27
Tabela 2 - Histórico de consumo – Unidade 2.	30
Tabela 3 - Histórico de consumo – unidade 3.	32
Tabela 4 - Fatura média – unidade 1	36
Tabela 5 - Fatura média – unidade 2	37
Tabela 6 - Fatura média – unidade 3	37
Tabela 7 - Comparativo entre as faturas – unidade 1	42
Tabela 8 - Comparativo entre as faturas – unidade 2	44
Tabela 9 - Comparativo entre as faturas – unidade 3	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PEE – Programa de Eficiência Energética

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

SAA – Sistema de Abastecimento de Água

SES – Sistema de Esgotamento Sanitário

PME - Programa de Mobilização Energética

MME – Ministério de Minas e Energia

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

TE - Tarifa de Energia

TUSD - Tarifa de uso dos sistemas elétricas de distribuição

ICMS - Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

PIS - Programa de Integração Social

COFINS - Contribuição para Financiamento da Seguridade Social

UTS – Unidade de Tratamento Simplificado

EAB – Estação de Água Bruta

EAT – Estação de Água Tratada

VBA - *Virtual Basic for Applications*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	Justificativa	14
1.2	Objetivos.....	14
1.2.1	Objetivo Geral.....	14
1.2.2	Objetivos Específicos	14
1.3	Metodologia.....	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	Eficiência Energética no Saneamento.....	16
2.1.1	Medidas administrativas	17
2.1.2	Medidas Operacionais.....	17
2.2	Mudança de Grupo Tarifário.....	17
2.2.1	Estrutura tarifária no Brasil.....	17
2.3	Ajuste da Demanda Contratada.....	22
2.4	Energia Reativa.....	23
3	EXEMPLO DE APLICAÇÃO	25
3.1	Considerações Iniciais	25
3.2	Unidades Operacionais.....	26
3.2.1	Unidade 1	26
3.2.2	Unidade 2.....	29
3.2.3	Unidade 3.....	32
3.3	Fatura de Energia Atual	34
4	RESULTADOS	38
4.1	Considerações Iniciais	38
4.2	Adequação tarifária.....	39
4.2.1	Unidade 1	40
4.2.2	Unidade 2.....	42
4.2.3	Unidade 3.....	44
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
5.1	Conclusões Gerais.....	47
5.2	Trabalhos Futuros	48
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49

1 INTRODUÇÃO

O conceito de eficiência energética surge com a instabilidade no suprimento de petróleo, ocasionado pela crise do petróleo da década de 70, aliado com as dificuldades para suprir as demandas de recursos energéticos cada vez mais altas. Nesse contexto os países desenvolvidos são forçados a procurarem formas de incentivar a conservação de energia e conseqüentemente a reduzir o consumo (DIXON *et al*, 2010).

Atualmente, com as recentes crises energéticas, os países tem intensificado os investimentos em políticas públicas relacionados à eficiência energética, principalmente nas indústrias. No Brasil há diversos programas que contribuem para o aumento da eficiência de bens e serviços, consumo consciente de energia e redução dos impactos ambientais, como é o caso do PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) e o PEE (Programa de Eficiência Energética) (ANTOÉ *et al*, 2017).

O setor de serviços públicos, em especial o de saneamento básico, estão constantemente envolvidos em projetos de eficiência energética nacional, visto que são considerados grandes consumidores de energia elétrica pelas distribuidoras. Em 2017 o consumo de energia elétrica por parte das companhias de saneamento brasileiras foi de 12,6 TWh, sendo 11,3 TWh com os SAA (Sistemas de Abastecimento de Água) e 1,3 TWh com os SES (Sistema de Esgotamento Sanitário), o que representou cerca de 2,7% do consumo total do Brasil no mesmo período, e que representou um custo de R\$5,26 bilhões (SNIS, 2019; EPE, 2018).

Como forma de reduzir esse alto consumo de energia, aumentar a eficiência energética no serviço de saneamento e conseqüentemente reduzir os custos com energia elétrica, podem ser adotadas medidas administrativas e operacionais dentro das companhias (GOMES, 2009 *apud* CHEREM, 2016), como por exemplo a adequação da demanda contratada, correto enquadramento tarifário, correção do fator de potência, otimização no sistema de reserva de água de forma a não trabalhar no horário de ponta.

Este trabalho, portanto, visa estudar um sistema de abastecimento de água de uma empresa do ramo de tratamento e distribuição de água visando aumentar a eficiência energética por meio de um estudo do sistema local e aplicando medias administrativas.

1.1 Justificativa

Avaliado os principais gastos de um sistema de abastecimento de água e principalmente, quais as oportunidades factíveis de redução de custo, este trabalho visa realizar um levantamento de, ao menos, uma dessas razões, que seria o alto consumo de energia eléctrica possivelmente devido a perdas do processo, baixa eficiência e/ou desperdícios durante a realização de todo o processo de tratamento de água, desde a captação até a chegada ao consumidor final, ocasionando uma fatura de energia com valores considerados altos e aplicação de multas.

Dessa forma, é proposto uma análise administrativa e operacional do sistema de abastecimento de água de uma empresa do ramo de tratamento e distribuição de água, visando encontrar alternativas para melhorar a eficiência energética e consequentemente reduzir os custos com energia eléctrica e evitar desperdícios.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Apresentar alternativas para melhorar a eficiência energética em um sistema de abastecimento de água de uma empresa do ramo de tratamento e distribuição de água, como intuito de reduzir o custo com energia eléctrica e tornar o sistema mais eficiente.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar a economia gerada pela alteração da demanda contratada;
- Realizar comparações entre diferentes grupos tarifários quando aplicados a unidade estudada;
- Avaliar os impactos financeiro e operacionais das alternativas encontradas.

1.3 Metodologia

A primeira parte deste trabalho consiste em um levantamento bibliográfico, iniciado pelo estudo das medidas administrativas e operacionais no setor de saneamento. Em seguida será apresentado um levantamento do atual cenário energético nacional, valor das tarifas de energia eléctrica, multas por ultrapassagens de demanda e por consumo excessivo de energia reativa, além da avaliação dos subsídios para o setor de saneamento básico.

Após a conclusão da parte bibliográfica foi analisado o sistema de abastecimento de água objeto de estudo, procurando entender o funcionamento operacional e situação tarifária que se encontra junto a concessionária de energia. Com as informações e verificações das possíveis melhorias no sistema foi criado uma ferramenta computacional para realizar as simulações.

Com os dados da área de estudo e a ferramenta pronta foi realizado todas as simulações necessárias para encontrar o ponto ótimo de forma a tornar a unidade mais eficiente possível.

A última parte deste trabalho é destinada as conclusões obtidas no trabalho bem como a apresentação da análise financeira para a aplicação do projeto de eficiência energética.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será apresentado um levantamento teórico através de documentos científicos a respeito da aplicação da eficiência energética em um sistema de abastecimento de água. Para esse levantamento, foram utilizados livros técnicos, sites de pesquisa, teses de pós-graduação e informações governamentais disponibilizadas através de normas, resoluções e sites do governo.

2.1 Eficiência Energética no Saneamento

A eficiência energética é umas das principais ferramentas para a redução de custos e tem como função tornar o setor produtivo ou de serviços mais sustentável e eficiente (VIANA *et al.*, 2012), visando a realização de uma atividade com a menor quantidade de energia possível, e assim otimizar o sistema.

O termo eficiência energética começou a ser utilizado com maior relevância no Brasil em 1981 com a criação do programa “Conserve”, que possuía por objetivo promover a conservação de energia na indústria, o desenvolvimento de produtos eficientes e substituição de fonte energéticas importadas pelas fontes nacionais. No ano seguinte foi criado o PME (Programa de Mobilização Energética), que se caracterizou principalmente por incentivar a substituição dos derivados do petróleo por fontes de energias renováveis (ANTOÉ *et al.*, 2017).

Em 1985 o governo federal por meio do MME (Ministério de Minas e Energia) criou o PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica), programa com maior representatividade e atuação até os dias atuais. Avaliando o ano de 2018, por exemplo, tal programa foi responsável pela economia de 22,99 TWh, representando uma economia de 4,87% do consumo total de eletricidade do Brasil, além disso evitou a emissão de cerca de $1,7 * 10^6$ tCO₂. (PROCEL, 2019).

O PROCEL possui programas específicos para atingir determinados setores, como é o caso do PROCEL SANEAR, que atua diretamente no setor de saneamento ambiental, com propostas de gerenciamento do uso de água e energia. As principais linhas de atuação desse subprograma são (PROCEL, 2019).

- Capacitação em eficiência energética dos profissionais da área;
- Incentivo ao desenvolvimento de projetos que busquem a eficiência energética;
- Apoio às ações de pesquisas aplicadas.

As ações para a redução do custo de energia elétrica em um sistema de abastecimento de água são divididas em dois grupos:

2.1.1 Medidas administrativas

As medidas administrativas são um conjunto de ações que podem ser tomadas pela própria companhia de saneamento junto a concessionária de energia elétrica e não demandam recursos financeiros. Essa medida tem como objetivo reduções no custo, entretanto, não reduzem o consumo de energia elétrica (MOURA, 2010).

São exemplos de medidas administrativas:

- Mudança do grupo tarifário;
- Ajuste da demanda contratada.

2.1.2 Medidas Operacionais

As medidas operacionais são ações que efetivamente reduzem o consumo de energia elétrica, entretanto necessitam de investimentos financeiros (Moura, 2010). Portanto para a realização dessas medidas há a necessidade de um estudo de viabilidade econômica e dos aspectos técnicos.

São exemplos de medidas operacionais:

- Otimização da reserva de água com aumento do bombeamento fora do horário de ponta;
- Correção do fator de potência;
- Acionamento de motores elétricos por inversores de frequência.

Este trabalho apresentou como foco as medidas administrativas, visto que se tratam de ações com uma redução de custos imediata e sem a necessidade de investimentos.

2.2 Mudança de Grupo Tarifário

O entendimento do sistema de tarifação de energia é fundamental para determinar o grupo tarifário mais adequado para a unidade e dessa forma reduzir custos com energia elétrica. Vale ressaltar que o objetivo não é reduzir o consumo de energia elétrica e sim escolher a melhor forma de cobrança de acordo com o histórico de consumo.

2.2.1 Estrutura tarifária no Brasil

A estrutura da tarifa de energia no Brasil é determinada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), órgão responsável por fiscaliza e regulamenta os seguimentos de geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica (BRASIL, 2010).

Através da Resolução Normativa nº 414/2010 a ANEEL estabelece tanto os direitos e obrigações das concessionárias de energia quanto as dos consumidores, sendo essa a norma responsável por detalhar a estrutura tarifária vigente. Essa estrutura é composta por um conjunto de tarifas que são aplicadas à demanda de potência e sobre o consumo de energia elétrica de acordo com a classificação da tensão de fornecimento (NETO, 2008).

Para a classificação e aplicação de tarifas, os consumidores são divididos em classes e subclasses de acordo com as atividades exercidas. Atualmente existem oito classes, são elas (BRASIL, 2010):

- Residencial;
- Industrial;
- Comércio, serviços e outras atividades;
- Rural;
- Poder Público;
- Iluminação Pública;
- Serviço Público;
- Consumo Próprio.

Os consumidores são divididos também pela classe de tensão de atendimento, dividida em dois grupos e dez subgrupos:

- Grupo A – composto por unidades cuja tensão de fornecimento é igual ou superior a 2,3kV ou quando atendidas por um sistema subterrâneo. São faturadas pela demanda de potência e pelo consumo de energia ativa e reativa.
- Grupo B – composto por unidades cuja tensão de fornecimento é inferior a 2,3k. São faturadas apenas pelo consumo de energia ativa e reativa quando houver medição.

A partir das classificações do consumidor é possível escolher a melhor modalidade tarifária (BRASIL, 2010):

- Modalidade tarifária convencional: modalidade sem distinção de horário e, portanto, possui apenas uma tarifa de consumo de energia, equação 1. Essa forma de tarifação enquadra apenas consumidores do grupo B.

$$P_{CB} = C_m * T_e \quad (1)$$

Onde:

P_{CB} – Parcela de consumo grupo B (R\$)

C_m – Consumo medido (kWh)

T_e – Tarifa de energia (R\$)

- Modalidade tarifária horária azul: aplicada apenas a unidades do grupo A, caracterizada por duas tarifas para o consumo de energia elétrica e para a demanda de potência (fora ponta e ponta) de acordo com o horário, equação 2.

$$P_{CA} = C_{fjp} * T_{efjp} + D_{fjp} * T_{dfjp} + C_p * T_{ep} + D_p * T_{dp} \quad (2)$$

Onde:

P_{CA} – Parcela de consumo grupo A

C_{fjp} – Consumo fora ponta (kWh)

T_{efjp} – Tarifa de energia fora ponta (R\$)

D_{fjp} – Demanda fora ponta (kW)

T_{dfjp} – Tarifa de demanda fora ponta (R\$)

C_p – Consumo ponta (kWh)

T_{ep} – Tarifa de energia ponta (R\$)

D_p – Demanda ponta (kW)

T_{dp} – Tarifa de energia ponta (R\$)

- Modalidade tarifária horária verde: aplicada a unidades do grupo A, caracterizada por duas tarifas para o consumo de energia elétrica (fora ponta e ponta) de acordo com o horário, entretanto possui única tarifa para demanda de potência, equação 3.

$$P_{CA} = C_{fjp} * T_{efjp} + C_p * T_{ep} + D * T_d \quad (3)$$

Onde:

P_{CA} – Parcela de consumo grupo A

C_{fjp} – Consumo fora ponta (kWh)

T_{efjp} – Tarifa de energia fora ponta (R\$)

C_p – Consumo ponta (kWh)

T_{ep} – Tarifa de energia ponta (R\$)

D – Demanda (kW)

T_d – Tarifa de demanda (R\$)

- Modalidade tarifária horária branca: aplicada apenas a unidades do grupo B, com exceção do subgrupo B4 e baixa renda. Caracteriza-se por apresentar 3 tarifas diferenciadas de acordo com o horário (fora ponta, intermediário e ponta), equação 4.

$$P_{CB} = C_{fpp} * T_{efpp} + C_{int} * T_{int} + C_p * T_{ep} \quad (4)$$

Onde:

C_{fpp} – Consumo fora ponta (kWh)

T_{efpp} – Tarifa de energia fora ponta (R\$)

C_{int} – Consumo intermediário (kWh)

T_{int} – Tarifa intermediária (R\$)

C_p – Consumo ponta (kWh)

T_{ep} – Tarifa de energia ponta (R\$)

A diferenciação da tarifa de acordo com o horário em algumas modalidades tarifárias se dá devido a curva de consumo de cada região, sendo a tarifa mais cara no horário de maior consumo. No estado do Tocantins o horário de ponta ocorre entre às 18:00 e 20:59 horas, o horário intermediário ocorre entre às 17:00 e 17:59 horas e entre às 21:00 e 21:59 horas, o horário fora de ponta corresponde as demais horas, sendo que o horário intermediário é aplicado apenas para tarifa branca. (ENERGISA, 2019)

Anualmente as tarifas de energia são reajustadas de acordo com uma fórmula prevista no contrato de concessão, de forma que as concessionárias de energia tenham receita suficiente para cobrir custos operacionais e recuperar investimentos para expandir a capacidade de atendimento (ANEEL,2019). Assim, a cada ano a ANEEL elabora uma resolução homologatória com o resultado do reajuste para cada concessão.

A quadro 1 apresenta as tarifas aplicadas pela ENERGISA, concessionária de energia responsável pelo estado do Tocantins. As tarifas foram homologadas pela Resolução Homologatória nº 2.567 de 02 de julho de 2019 com validade entre 04 de julho de 2019 a 03 de julho de 2020. As subclasses de tensão que serão avaliadas para esse estudo são: Grupo A3a – 30 a 44kV; grupo A4 – 2,3 a 25 kV; B1 (monofásico); B2 (bifásico); B3 (trifásico).

Quadro 1 - Tarifa Vigente – ENERGISA - TO 2019

Subgrupo	Modalidade	Posto	Tarifas de Aplicação (R\$/kW)			Tarifa Sem Impostos
			TUSD Demanda	TUSD	TE	
A4	Azul	Ponta	79,27	0,05222	0,39052	0,44274
		Fora Ponta	28,55	0,05222	0,22852	0,28074
	Verde	Ponta	0,00	0,05222	0,22852	0,28074
		Fora Ponta	28,55	1,9785	0,3905	2,36901
A3a	Azul	Ponta	79,27	0,05222	0,39052	0,44274
		Fora Ponta	28,55	0,05222	0,22852	0,28074
	Verde	Ponta	0,00	1,9785	0,3905	2,36901
		Fora Ponta	28,55	0,05222	0,22852	0,28074
B1	Convencional	Ponta	0,00	0,35806	0,24202	0,60008
	Branca	Ponta	0,00	0,95482	0,39052	1,34534
		Intermediário	0,00	0,60244	0,28852	0,89096
		Fora Ponta	0,00	0,25006	0,28852	0,53858
B2	Convencional	Ponta	0,00	0,35806	0,24202	0,60008
	Branca	Ponta	0,00	0,73646	0,29679	1,03325
		Intermediário	0,00	0,46434	0,17367	0,63801
		Fora Ponta	0,00	0,19221	0,17367	0,36588
B3	Convencional	Ponta	0,00	0,35806	0,24202	0,60008
	Branca	Ponta	0,00	1,02587	0,39052	1,41639
		Intermediário	0,00	0,64507	0,28852	0,93359
		Fora Ponta	0,00	0,26428	0,28852	0,5528

Fonte: Adaptado ANEEL,2019

A tarifa aplicada portanto é a combinação da TE (tarifa de energia) e da TUSD (tarifa de uso dos sistemas elétricas de distribuição) mais a aplicação dos impostos governamentais ICMS (imposto sobre circulação de mercadorias e serviços), PIS (programa de integração social) e COFINS (contribuição para financiamento da seguridade social), equação 5.

$$Tarifa = \frac{(TE + TUSD)}{[1 - (ICMS + PIS + COFINS)]} \quad (5)$$

Algumas classes de consumidores possuem um desconto subsidiado pelo governo através da Conta de Desenvolvimento Energético (CDE) instituído pelo decreto nº 7.891 de 23 de janeiro de 2013. Esse decreto concedia um subsídio de 15% ao serviço público de saneamento. Entretanto, o decreto nº 9.642 de 27 de dezembro de 2018 estabeleceu uma redução

gradual da razão de 20% ao ano até que a alíquota seja zero. Dessa forma o subsídio atualmente aplicado ao serviço de saneamento é de 12%.

A correta definição do grupo tarifário de acordo com o consumo e a demanda exigida da rede é fundamental para redução de custos. Desta maneira, este trabalho utilizará de uma ferramenta computacional para calcular o custo para cada modalidade tarifária aplicada a área de estudo.

2.3 Ajuste da Demanda Contratada

A resolução normativa 414/2010 da ANEEL define demanda como a média das potências elétricas ativas ou reativas que são solicitadas do sistema pela carga instalada em um intervalo de tempo, sendo expressa em kW (demanda de potência ativa) e kVAr (demanda de potência reativa).

Assim podemos simplificar que a demanda é a capacidade máxima exigida do sistema elétrico por um determinado consumidor. Para regulamentar a quantidade a ser atendida pela concessionária o consumidor contrata uma demanda específica para sua unidade, chamada demanda contratada, essa por sua vez é demanda de potência ativa disponibilizada obrigatoriamente e continuamente pela concessionária de energia (BRASIL, 2010).

Após contratada, a concessionária de energia elétrica realiza as medições a cada 15 minutos, sendo o maior valor registrado à quantidade faturada. Caso esse valor seja inferior ao contratado será cobrado também pelo montante não consumido, porém, se o valor for superior (mais do que 5%), será apurado o valor faturado e aplicado uma multa por ultrapassagem em cima da quantidade não contratada. A cobrança da ultrapassagem de demanda é calculada pela equação 6 (BRASIL, 2010):

$$P_{Dul} = [P_{am} - P_{ac}] * 2 * Td \quad (6)$$

Onde:

P_{Dul} – Parcela de demanda de ultrapassagem (R\$)

P_{am} – Demanda de potência ativa medida (kW)

P_{ac} – Demanda de potência ativa contratado (kW)

Td – Tarifa de demanda ativa

Visto isso, a correta definição da demanda pode significar uma grande redução nos custos com energia da unidade consumidora e até mesmo aliviar o sistema elétrico reduzindo

os picos de consumo. Esse trabalho utilizará uma ferramenta computacional para simular a demanda ideal da unidade consumidora estudada, observando o histórico das demandas lidas nos últimos 12 meses e se atentando com a sazonalidade (variações que ocorrem em intervalos de tempo específicos) do local.

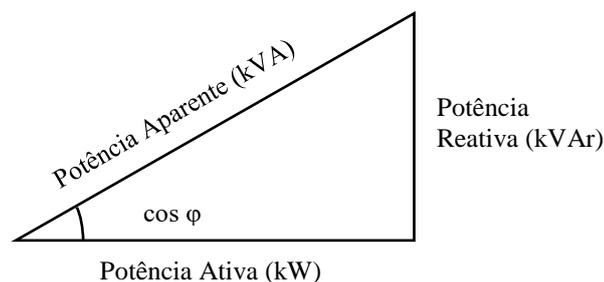
2.4 Energia Reativa

Existem dois tipos de potência no sistema elétrico, a potência ativa (kW), aquela capaz de realizar trabalho, e, portanto, “consumida” por equipamentos que transformam energia elétrica em outra forma de energia útil. E a potência reativa (kVAr), responsável pela energia de magnetização em equipamentos com enrolamento. A soma vetorial da potência ativa e reativa resulta na potência aparente ou total (CREDER,2007).

Pode-se concluir, que a potência reativa além de não produzir trabalho, circula entre a carga e a fonte, ocupando assim um espaço no sistema elétrico (WEG, 2009). Entretanto essa potência é de extrema importância, pois todos os motores de indução, presentes nas indústrias, transformadores, fornos de indução, entre outros necessitam do campo eletromagnético para seu funcionamento. Visto isso é necessário que haja uma compensação da potência reativa, de forma a ela não prejudicar o sistema.

A razão entre a potência ativa e potência aparente é definido como fator de potência, cujo qual podemos representar no triângulo de potência como $\cos \phi$, figura 1. O valor de $\cos \phi$ varia de 0 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1, maior será a eficiência do sistema.

Figura 1 - Triângulo de Potência



Fonte: Adaptado WEG, 2009.

Dessa forma a resolução 414/2010 da ANEEL regulamenta o fator de potência mínimo de 0,92, sendo que, quando ultrapassado o limite de potência reativa o consumidor deve pagar uma multa definido pela fórmula 8. Há também uma limitação para o tipo de potência reativa por horário, onde fica determinado que das 24h às 06h o fator de potência é definido para energia reativa capacitiva e as demais horas pela indutivas (WEG, 2009).

$$P_{ERE} = \sum [EEAM * (\frac{f_R}{f_T} - 1)] * T_{ERE} \quad (7)$$

$$P_{DRE} = [MAX \left(P_{am} * \frac{f_R}{f_T} \right) - P_{af}] * T_{DRE} \quad (8)$$

Onde:

P_{ERE} – Parcela de energia reativa

$EEAM$ – Montante de energia elétrica ativa medida a cada 1 hora

f_R – Fator de potência referência

f_T – Fator de potência da unidade consumidora

T_{ERE} – Tarifa de energia reativa

P_{DRE} – Parcela de demanda reativa

MAX – Máximo valor da equação

P_{am} – Demanda de potência ativa medida

P_{af} – Demanda de potência ativa faturável

T_{DRE} – Tarifa de demanda reativa

3 EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Um sistema de abastecimento de água convencional é constituído essencialmente de unidades de captação, estação elevatória, adutora, estação de tratamento, reservatório, redes de distribuição e por fim as ligações domiciliares (NETO,2008). Quanto a etapa de captação, esta pode ser realizada de forma superficial ou subterrânea.

A captação subterrânea é efetuada por meio de poços artesianos, através de perfurações feitas no solo de modo a atingir os lenções subterrâneos. A água é retirando por meio de um conjunto motobomba, que é responsável também por mandar essa água para uma estação elevatória ou para um reservatório. A água dos poços artesianos é, em sua grande maioria, isenta de contaminação, não possuindo cor e nem turbidez o que torna o tratamento mais simples, não havendo a necessidade de realizar todos os processos de tratamento como é feito para a água da captação superficial (COPASA, 2019). Portanto, as unidades de tratamento que possuem poço como fonte de captação são conhecidas como UTS.

3.1 Considerações Iniciais

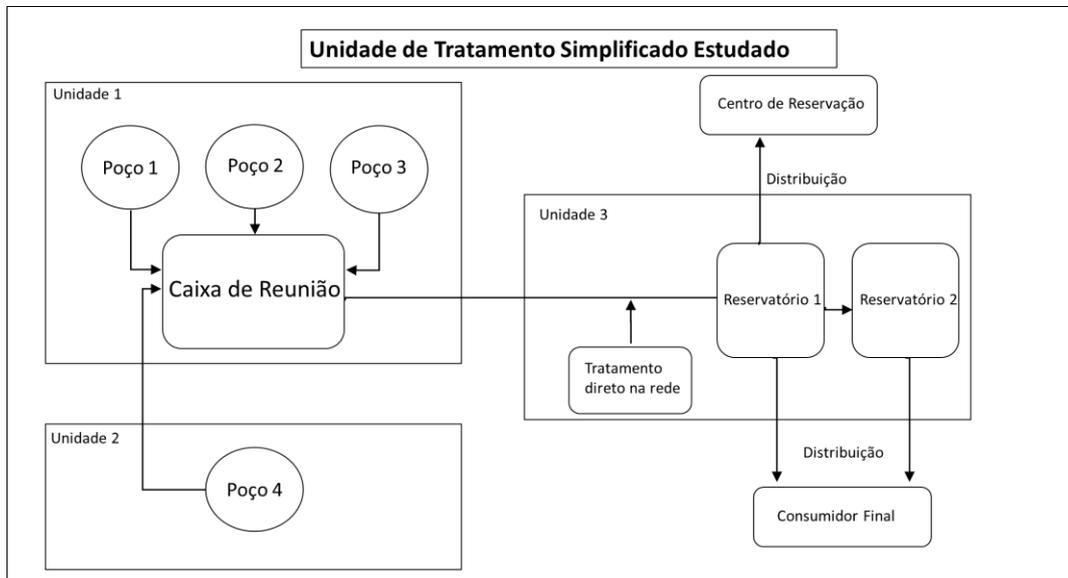
O objeto de estudo deste trabalho é uma unidade de tratamento simplificado de água de uma empresa do ramo de saneamento básico. A área estuda é constituída por quatro poços que realizam o abastecimento de aproximadamente 3.718 ligações, com uma rede de distribuição de área de 73.165m.

O sistema possui oito partes principais:

- Captação subterrânea composta de 4 poços, com bombas submersas de 10cv e 12cv;
- Caixa de reunião, responsável por armazenar a água bruta dos poços;
- EAB, composta por dois conjuntos bomba centrífuga e motor de indução trifásico de 100cv, funcionando em regime 1+1 (titular e reserva);
- Linha de recalque;
- Unidade de tratamento com capacidade de 100 l/s, com tratamento realizado diretamente na rede para o reservatório.
- EAT 1, composta por dois conjuntos bomba centrífuga e motor de indução trifásico de 7,5cv, funcionando em regime 1+1 (titular e reserva);
- EAT 2, composta por dois conjuntos bomba centrífuga e motor de indução trifásico de 100cv, funcionando em regime 1+1 (titular e reserva);
- Rede de distribuição.

A fim de ilustrar o sistema, a figura 2, representa o esquemático do operacional:

Figura 2 - Esquemático Operacional



Fonte: Autor

A unidade 1 é acionada por um sistema de rádio de telecomunicação que ao receber o sinal que o nível do reservatório atingiu 40% aciona a bomba da EAB, e assim a água bruta da caixa de reunião é bombeada para a unidade 3 para passar pelo tratamento e encher os reservatórios até que atinja 100%. Por sua vez quando a caixa de reunião atinge 40% do seu nível é acionado as bombas dos poços, também pelo sistema de rádio, a fim de atender a demanda.

O estudo se concentrará na adequação da demanda contratada e no correto enquadramento tarifário das três unidades consumidoras na qual a UTS é dividida.

3.2 Unidades Operacionais

As instalações da UTS a ser analisada são divididas em três unidades consumidoras todas enquadradas no grupo A, subgrupo A3a (30 a 44 kV), na estrutura THS Verde. De acordo com a tabela 1, os valores das tarifas sem impostos são de 0,2807R\$/kWh fora de ponta, 2,3690 R\$/kWh ponta, 0,2420R\$/kVAr consumo reativo e 28,55 R\$/kW para demanda.

3.2.1 Unidade 1

A unidade 1 pode ser dividida em dois blocos: captação e caixa de reunião. O bloco de captação conta com três poços cada um com uma bomba hidráulica submersa, de 10 cv (7,36

kW), 10 cv (7,36 kW) e 12 cv (8,83 kW) respectivamente. A caixa de reunião é um reservatório que recebe a água recalçada pelos três poços da unidade 1 e pelo poço da unidade 2, sendo responsável por mandar essa água para a unidade de tratamento. Para isso ela conta com duas bombas centrífugas em regime 1+1 (uma principal e uma reserva) com um motor de indução trifásico de 100cv acionado por um inversor.

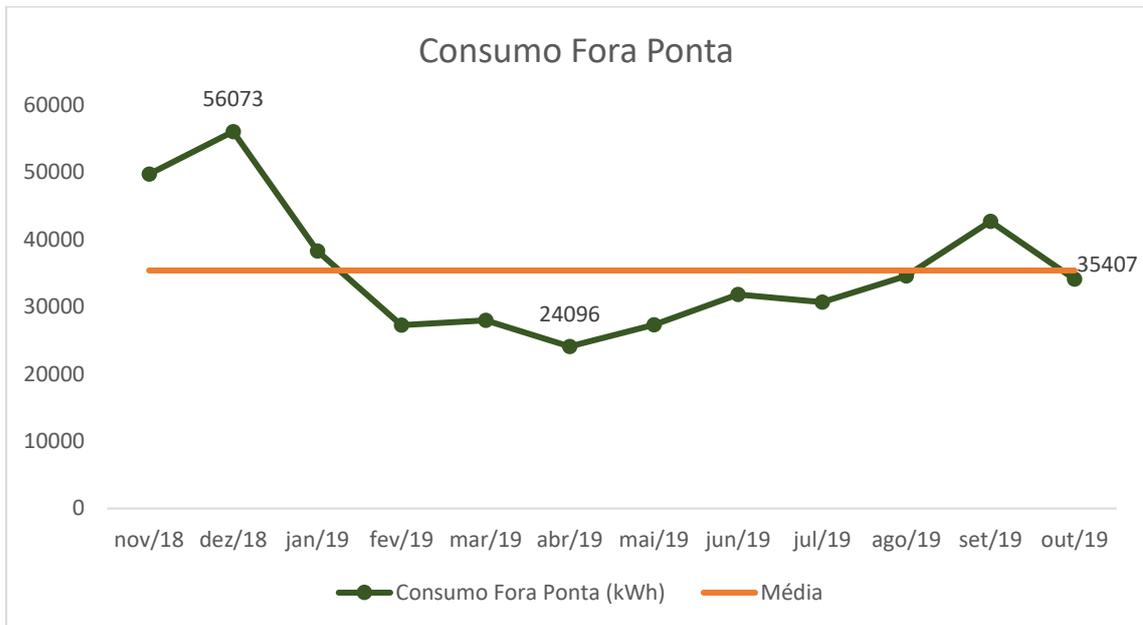
A demanda contratada junto a concessionária de energia é de 110kW, na tabela 1 será apresentado o histórico de consumo da unidade de novembro de 2018 a outubro de 2019.

Tabela 1 - Histórico de consumo – Unidade 1.

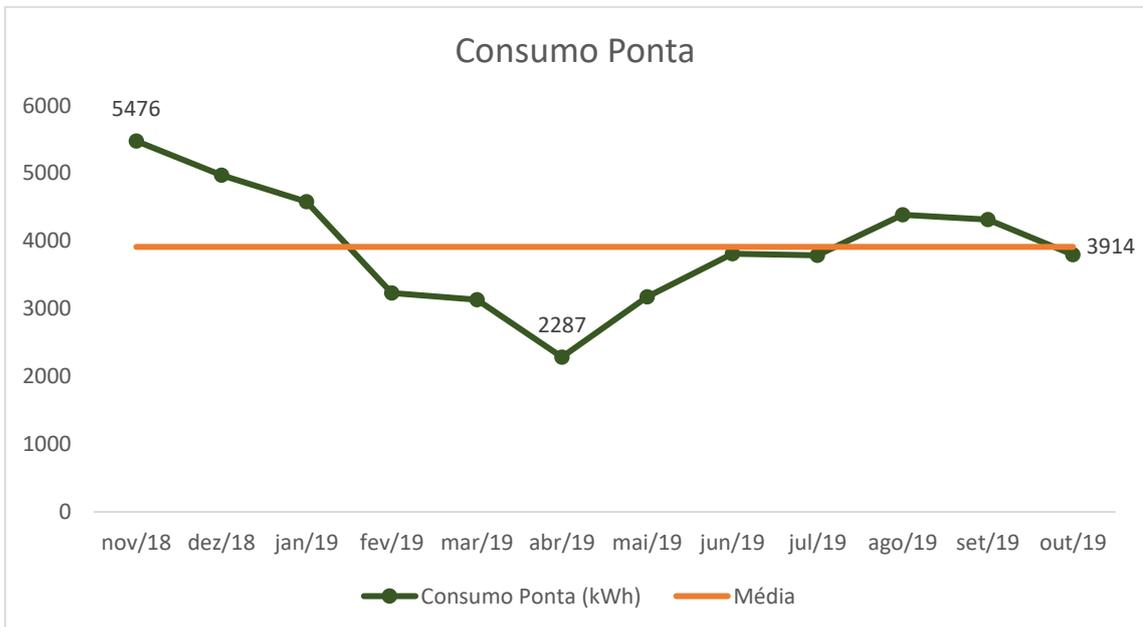
Unidade 1				
Mês	Consumo Fora Ponta (kWh)	Consumo Ponta (kWh)	Demanda Medida (kW)	Consumo Reativo (kVAr)
nov/18	49758	5476	120	638
dez/18	56073	4972	123	3
jan/19	38303	4581	125	2
fev/19	27296	3231	127	143
mar/19	27990	3135	134	480
abr/19	24096	2287	90	248
mai/19	27342	3174	88	608
jun/19	31855	3814	98	530
jul/19	30699	3791	67	95
ago/19	34608	4387	67	29
set/19	42728	4317	85	120
out/19	34130	3800	66	211
Média	35407	3914	99	259

Fonte: Valores obtidos nas faturas mensais da estação, Energisa-TO (2018/2019)

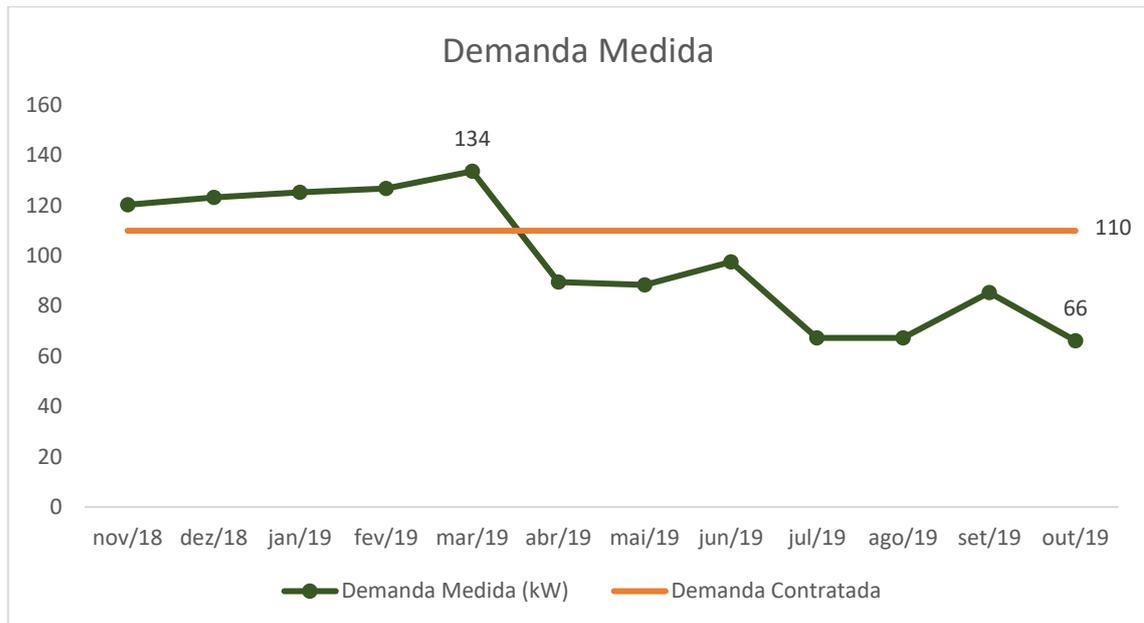
Com o histórico dos últimos 12 meses foram gerados os gráficos da curva de consumo mensal e da demanda medida, indicando os valores máximos e mínimos do período de amostragem. Os dados são melhores apresentados nas figuras 3,4 e 5.

Figura 3 - Gráfico do consumo fora da ponta – unidade 1.

Fonte: Valores obtidos nas faturas mensais da estação, Energisa-TO (2018/2019)

Figura 4 - Gráfico do consumo na ponta – unidade 1.

Fonte: Valores obtidos nas faturas mensais da estação, Energisa-TO (2018/2019)

Figura 5 - Gráfico da demanda medida – unidade 1.

Fonte: Valores obtidos nas faturas mensais da estação, Energisa-TO (2018/2019)

Analisados os gráficos 3, 4 e 5, é possível identificar a sazonalidade do abastecimento de água na região onde a unidade está localizada. O consumo começa a reduzir a partir de janeiro e apresenta os menores valores até maio em decorrência do período chuvoso. Já no período de seca, os maiores valores de consumo são registrados devido a necessidade do aumento do tempo de funcionamento das máquinas para a captação da água.

Ao realizar a comparação entre a demanda medida e a contratada é possível identificar que a partir do mês de abril a demanda medida diminuiu e passou a se tornar menor que a demanda contratada, isso ocorreu devido a uma alteração operacional, e portanto, torna-se possível identificar a necessidade de correção da demanda contratada para o novo comportamento da carga.

3.2.2 Unidade 2

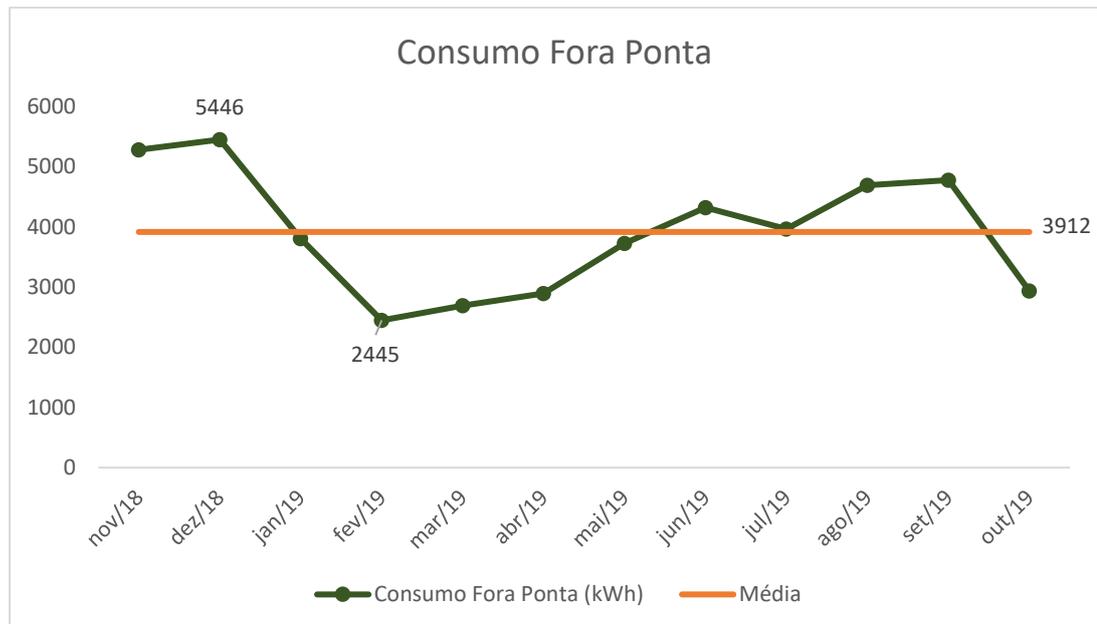
A unidade 2 possui um poço de captação com uma bomba hidráulica submersa de 10 cv (8,83 kW) que succiona a água até um tanque armazenador denominada “caixa de reunião” presente na unidade 1. A demanda contratada junto a concessionária é de 30kW (demanda mínima), na tabela 2 será apresentado o histórico de consumo da unidade de novembro de 2018 a outubro de 2019.

Tabela 2 - Histórico de consumo – Unidade 2.

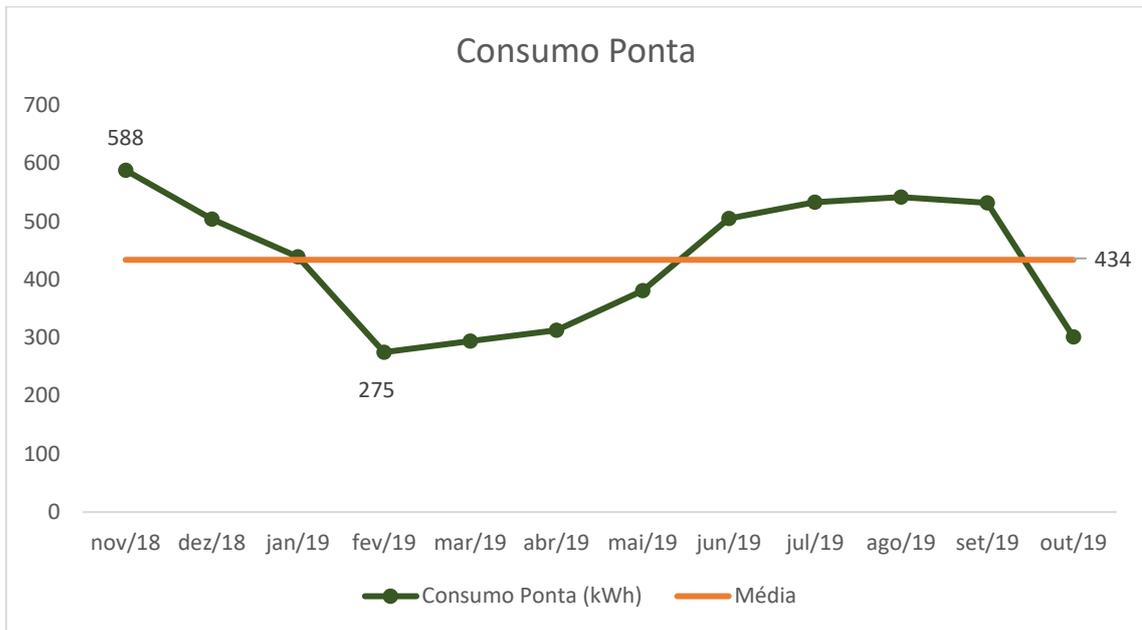
Unidade 2				
Mês	Consumo Fora Ponta (kWh)	Consumo Ponta (kWh)	Demanda Medida (kW)	Consumo Reativo (kVAr)
nov/18	5275	588	10,95	0
dez/18	5446	504	10,7	0
jan/19	3801	439	10,52	0
fev/19	2445	275	10,46	0
mar/19	2688	294	10,33	0
abr/19	2893	313	10,27	0
mai/19	3724	381	10,09	0
jun/19	4317	505	9,96	0
jul/19	3962	533	9,9	0
ago/19	4688	542	20,16	0
set/19	4775	532	9,78	0
out/19	2935	301	9,72	0
Média	3912	434	11	0

Fonte: Valores obtidos nas faturas mensais da estação, Energisa-TO (2018/2019).

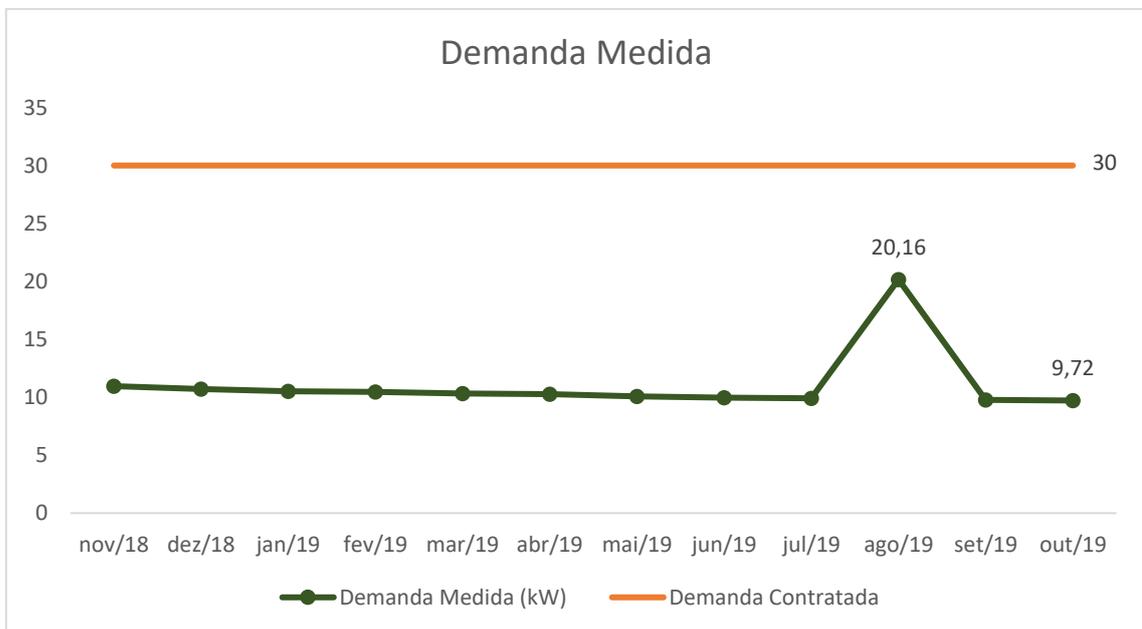
A partir do histórico de consumo foi gerado o gráfico da curva de consumo mensal e da demanda medida para o período de amostragem. Os resultados são apresentados nas figuras 6, 7 e 8.

Figura 6 - Gráfico do consumo fora ponta – unidade 2.

Fonte: Valores obtidos nas faturas mensais da estação, Energisa-TO (2018/2019).

Figura 7 - Gráfico do consumo ponta -unidade 2

Fonte: Valores obtidos nas faturas mensais da estação, Energisa-TO (2018/2019).

Figura 8 - gráfico da demanda medida – unidade 2.

Fonte: Valores obtidos nas faturas mensais da estação, Energisa-TO (2018/2019).

Assim como na unidade 1 é possível observar a sazonalidade no abastecimento de água na região, visto que os menores valores de consumos são concentrados no período chuvoso.

Ao analisar o gráfico 5 é verificado que a demanda da unidade não possui muitas variações, com exceção do mês de agosto em que o valor medido foi acima da média. Além disso, é constatado que a demanda contratada está muito acima da demanda medida, por se tratar da demanda mínima exigida para o enquadramento tarifário da unidade.

3.2.3 Unidade 3

A unidade 3 pode ser dividida em dois blocos: tratamento e reservatórios. O bloco de tratamento é responsável pela aplicação de produtos químicos para a desinfecção e correção de pH da água, este bloco é composto de bombas dosadoras e agitadores elétricos. Os reservatórios por sua vez armazenam a água tratada e mandam para o consumidor final por gravidade. A unidade possui dois reservatórios com capacidade de $500m^3$ e $100m^3$, sendo o primeiro responsável por abastecer o segundo por meio da EAT 1, e também quando necessário ajuda no abastecimento do centro de armazenamento, denominado “centro de reservação” da cidade através da EAT 2.

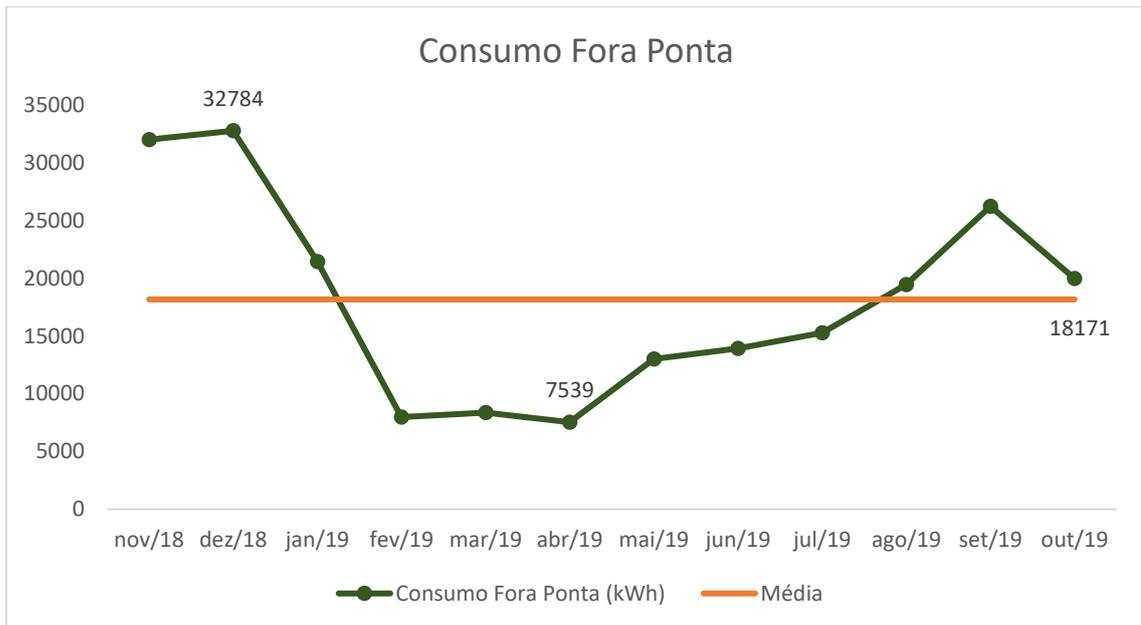
A demanda contratada junto a concessionária é de 90kW, na tabela 4 será apresentado o histórico de consumo da unidade de novembro de 2018 a outubro de 2019 e nas figuras 9, 10 e 11 o gráfico com as curvas de consumo e demanda.

Tabela 3 - Histórico de consumo – unidade 3.

Unidade 3				
Mês	Consumo Fora Ponta (kWh)	Consumo Ponta (kWh)	Demanda Medida (kW)	Consumo Reativo (kVAr)
nov/18	32006	3478	89	34
dez/18	32784	2983	89	44
jan/19	21452	2210	95	104
fev/19	7981	547	95	235
mar/19	8380	774	91	205
abr/19	7539	693	90	276
mai/19	13025	2205	90	235
jun/19	13927	2443	92	195
jul/19	15280	2656	94	167
ago/19	19456	3165	87	139
set/19	26228	2547	86	88
out/19	19989	1657	89	139
Média	18171	2113	91	155

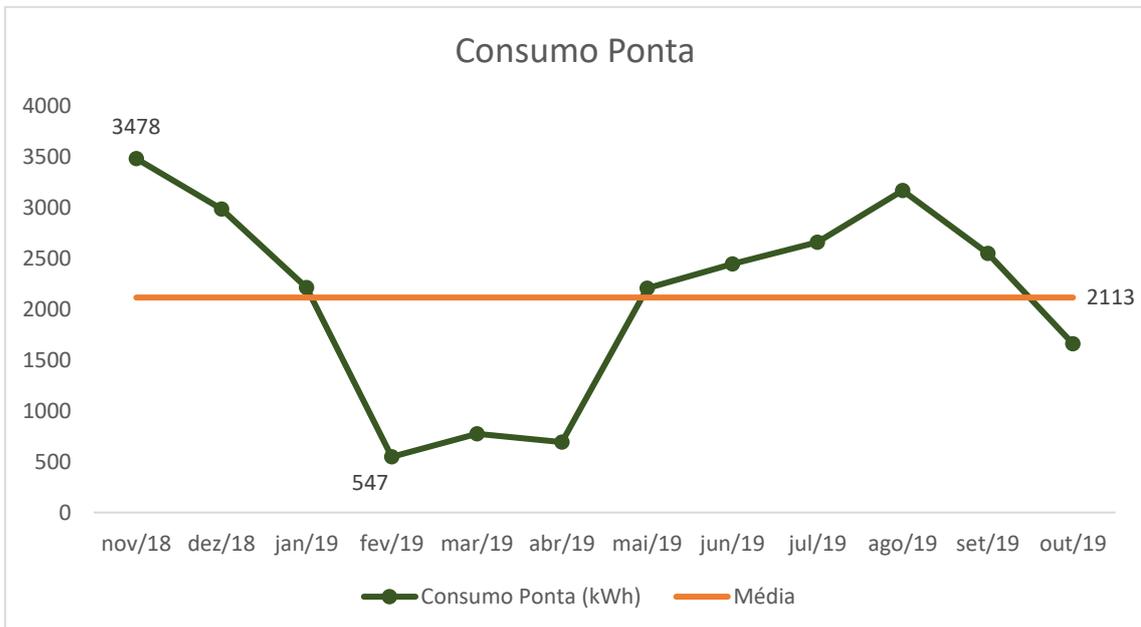
Fonte: Valores obtidos nas faturas mensais da estação, Energisa-TO (2018/2019)

Figura 9 - Gráfico do consumo fora ponta – unidade 3.

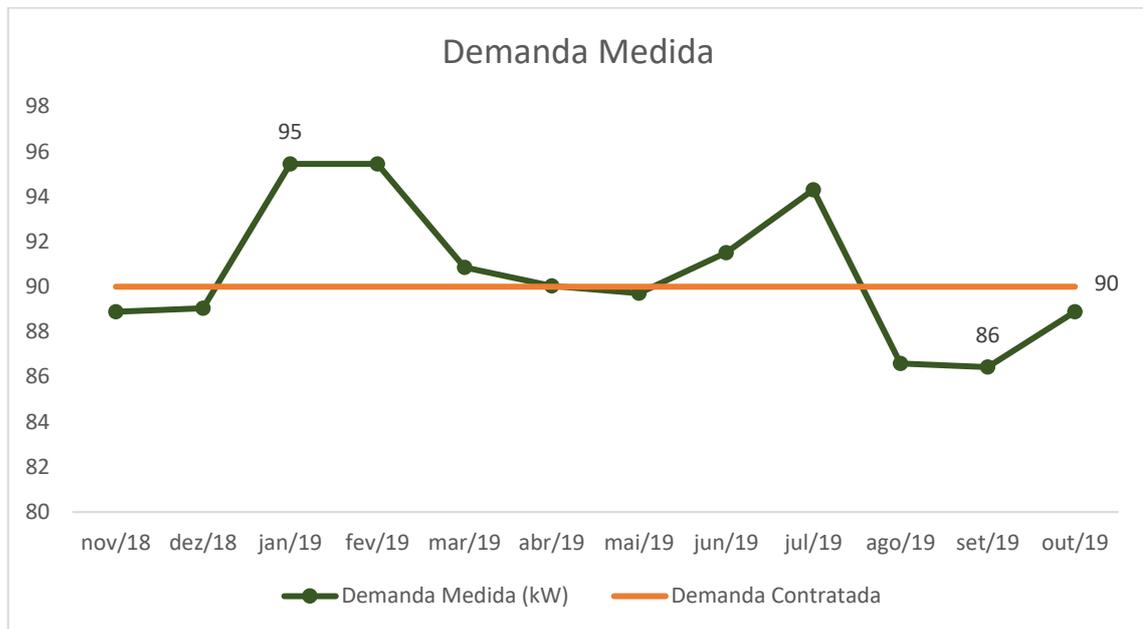


Fonte: Valores obtidos nas faturas mensais da estação, Energisa-TO (2018/2019)

Figura 10 - Gráfico do consumo ponta – unidade 3.



Fonte: Valores obtidos nas faturas mensais da estação, Energisa-TO (2018/2019)

Figura 11: Gráfico da demanda medida – unidade 3.

Fonte: Valores obtidos nas faturas mensais da estação, Energisa-TO (2018/2019)

Assim como nas unidades anteriores é observado a sazonalidade do abastecimento de água na região onde a unidade está localizada por meio dos valores registrados de consumo.

Ao realizar a comparação entre a demanda medida e a contratada é constatado que a unidade possui uma demanda com algumas variações durante o ano, entretanto a demanda contratada está próxima da média medida.

3.3 Fatura de Energia Atual

Para demonstrar o custo mensal com energia elétrica das unidades estudadas será calculado a fatura média para os valores apresentados na secção anterior da unidade 1 e replicado para as demais unidades. A base de cálculos é detalhada no capítulo 2, bem como os valores de cada tarifa utilizada.

Para efeito de cálculo foi desconsiderada o valor das bandeiras tarifárias.

1. Consumo e demanda:

A equação 3 demonstra a fórmula para a parcela de consumo para grupo A estrutura THS Verde:

$$P_{CA} = C_{fp} * T_{efp} + C_p * T_{ep} + D * T_d$$

$$P_{CA} = 35.407 * 0,28074 + 3.914 * 2,3690 + 110 * 28,55$$

$$P_{CA} = R\$ 22.352,97$$

Sendo:

$$\text{Consumo Fora Ponta} = \text{R\$ } 9.940,16$$

$$\text{Consumo Ponta} = \text{R\$ } 9.272,26$$

$$\text{Demanda} = \text{R\$ } 3.140,50$$

2. Adição dos Encargos:

A equação 5 é utilizada para calcular os encargos diretamente no valor do consumo. Para efeito de cálculo foi considerado as alíquotas de 25% para ICMS, 1 % para PIS e 4 % para COFINS.

$$\text{Tarifa} = \frac{(TE + TUSD)}{[1 - (ICMS + PIS + COFINS)]}$$

$$P_{CA} (c/Imposto) = \frac{P_{CA}}{[1 - (ICMS + PIS + COFINS)]}$$

$$P_{CA} (c/Imposto) = \frac{\text{R\$ } 22.352,97}{[1 - (25\% + 1\% + 4\%)]}$$

$$P_{CA} (c/Imposto) = 31.932,81$$

Dessa forma:

$$\text{Imposto} = 31.932,81 - \text{R\$ } 22.352,97$$

$$\text{Imposto} = 9.579,84$$

Algumas empresas do ramo de saneamento são isentas da aplicação da alíquota do ICMS aplicada na tarifa do uso dos sistemas de distribuição, TUSD. Logo, deve-se devolver os 25% referente a TUSD e a parcela desses 25% calculado nas alíquotas PIS e COFINS.

$$\text{Devolução do ICMS} = 4.786,94$$

3. Subsídio

Como explicado anteriormente, as empresas saneamento contam com um subsídio de serviços público, atualmente esse desconto é equivalente a 12%, aplicado apenas ao valor do consumo e demanda, sem imposto.

$$\text{Subsídio} = \text{R\$ } 22.352,97 * 0,12$$

$$\text{Subsídio} = \text{R\$ } 2682,36$$

4. Energia Reativa

O custo com energia reativa é considerado uma multa, portanto, não é contabilizado no valor do subsídio, por isso foi deixado para ser calculado por último.

$$P_{ERE} = 259 * 0,2420$$

$$P_{ERE} = R\$62,68$$

Aplicando os impostos:

$$P_{ERE}(c/Imposto) = \frac{R\$ 62,68}{[1 - (25\% + 1\% + 4\%)]}$$

$$P_{ERE}(c/Imposto) = R\$ 89,55$$

$$Imposto = R\$ 26,87$$

O valor final da fatura corresponde a soma das parcelas calculadas individualmente subtraída pelo subsídio governamental. A tabela 4 resume a fatura média da unidade 1:

Tabela 4 - Fatura média – unidade 1

Descrição da Parcela	Valor
Consumo Fora Ponta (kWh)	R\$9.940,16
Consumo Ponta (kWh)	R\$9.272,31
Demanda de Potência (kW)	R\$3.140,50
Consumo de Energia Reativa (kVAr)	R\$62,68
Impostos	R\$9.606,71
Devolução do ICMS	-R\$4.786,94
Subsídio	-R\$2.682,36
Total	R\$24.553,06

Fonte: Valores obtidos com a simulação da fatura.

O mesmo princípio pode ser utilizado para calcular a fatura média para as demais unidades. As tabelas 5 e 6 apresentam o resumo das parcelas da conta de energia da unidade 2 e 3 respectivamente.

Tabela 5 - Fatura média – unidade 2

Descrição da Parcela	Valor
Consumo Fora Ponta (kWh)	R\$1.098,25
Consumo Ponta (kWh)	R\$1028,15
Demanda de Potência (kW)	R\$856,50
Consumo de Energia Reativa (kVAr)	R\$0
Impostos	R\$1278,39
Devolução do ICMS	-R\$721,60
Subsídio	-R\$357,95
Total	R\$3.181,75

Fonte: Valores obtidos com a simulação da fatura.

Tabela 6 - Fatura média – unidade 3

Descrição da Parcela	Valor
Consumo Fora Ponta (kWh)	R\$5.101,33
Consumo Ponta (kWh)	R\$5.005,72
Demanda de Potência (kW)	R\$2.569,50
Consumo de Energia Reativa (kVAr)	R\$37,51
Impostos	R\$5.448,88
Devolução do ICMS	-R\$2.894,34
Subsídio	-R\$1.521,19
Total	R\$13.747,42

Fonte: Valores obtidos com a simulação da fatura.

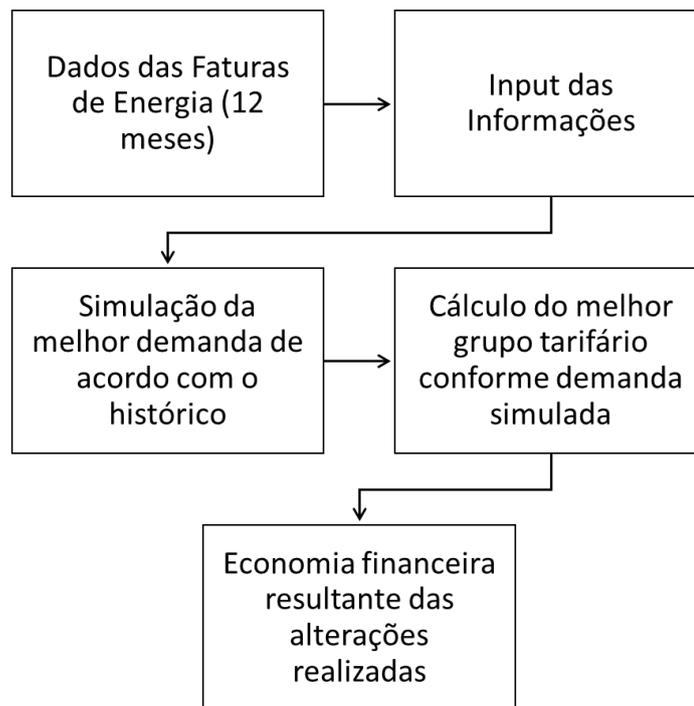
Ao observar as curvas de consumo e de demanda junto com o demonstrativo do custo mensal com energia elétrica é possível verificar que o consumo no horário de ponta (kWh), mesmo sendo aproximadamente 10% do consumo total, corresponde a praticamente ao mesmo valor da parcela de consumo no horário fora de ponta. Mostrando assim, que uma adequação no horário de funcionamento das unidades ou a instalação de um grupo motor gerador pode reduzir substancialmente o valor pago mensal. Além disso, é possível identificar que as demandas contratadas das unidades 1 e 2 estão muito acima da demanda média, dessa forma, necessitam de uma readequação da demanda contratada.

4 RESULTADOS

4.1 Considerações Iniciais

Neste capítulo será apresentado as simulações e resultados obtidos através do correto enquadramento tarifário. Para realizar as simulações foi elaborado um algoritmo, através do software Microsoft Office Excel, para calcular o valor ideal da demanda a ser contratada e o melhor enquadramento tarifário, de forma a retornar o menor custo para a unidade. Para isso foi utilizado o histórico das faturas de novembro de 2018 a outubro de 2019, de modo a identificar o perfil das cargas instaladas e o funcionamento operacional das unidades. O fluxograma da figura 12 apresenta a análise computacional utilizada.

Figura 12 - Fluxograma da análise computacional



Fonte: Autor.

O quadro 2 lista as principais informações e dados necessários que foram utilizados para realizar as simulações.

Quadro 2 - Dados utilizados.

Unidade Consumidora
Mês de Referência
Consumo em kWh – Ponta

Consumo em kWh – Fora Ponta
Consumo Total em kWh
Demanda Medida em Kw – Ponta
Demanda Contratada em Kw – Ponta
Demanda Medida em Kw – Fora Ponta
Demanda Contratada em Kw – Fora Ponta
Município
Sistema
Descrição
Grupo

Fonte: Autor.

Para a simulação de demanda, foi criado um código em VBA (*Virtual Basic for Applications*), para testar todos valores possíveis utilizando as equações, 2, para modalidade horária azul, 3, para modalidade horária verde e a equação 6 para ultrapassagem de demanda. Vale ressaltar que a mínima demanda foi restrita a 30kW, como previsto na norma 414/2010 da ANEEL (BRASIL, 2010).

Com a demanda ideal encontrada, é calculado os valores mensais de acordo com o consumo daquele mês, para a modalidade horária azul, verde e para baixa tensão (neste caso desconsiderando a demanda encontrada). Foi aplicado o subsídio de saneamento e também os impostos cobrados em cima da TE e da TUSD utilizando como base 25% (ICMS), 1% (PIS) e 4% (COFINS), de acordo com a equação 5. Por fim, o software realiza a soma anual dos custos com energia e analisa qual grupo tarifário se encaixa melhor com o funcionamento operacional da unidade.

4.2 Adequação tarifária

Nesta seção será apresentada as simulações das faturas para cada uma das três unidades consumidoras que contemplam a UTS, de modo a encontrar a demanda adequada e o melhor enquadramento tarifário. Serão comparadas as estruturas A3a THS Verde, A3a THS Azul e baixa tensão. Os valores para cada estrutura são comparados na tabela abaixo:

Quadro 3 - Comparação entre as tarifas.

Subgrupo	Modalidade	Posto	Tarifas de Aplicação (R\$/kW)			Tarifa Sem Impostos
			TUSD Demanda	TUSD	TE	
A3a	Azul	Ponta	79,27	0,05222	0,39052	0,44274
		Fora Ponta	28,55	0,05222	0,22852	0,28074
	Verde	Ponta	28,55	1,9785	0,3905	2,36901
		Fora Ponta	28,55	0,05222	0,22852	0,28074
B3	Convencional	-	0,00	0,35806	0,24202	0,60008

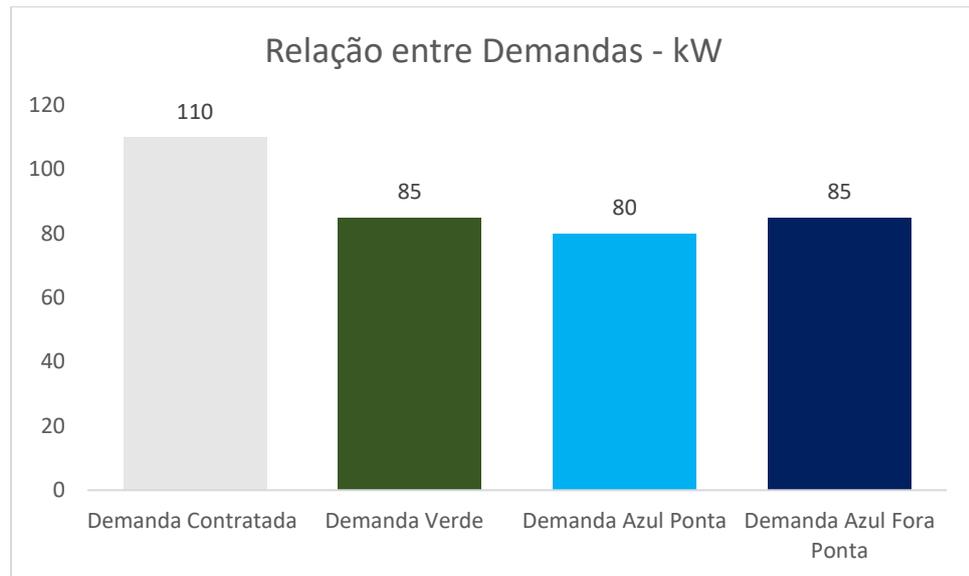
Fonte: Adaptado ANEEL,2019.

Ao comparar as estruturas tarifárias nota-se que a diferença entre as duas modalidades do subgrupo A3a está nos valores relativos à utilização da rede elétrica, a TUSD. Com relação a demanda, a modalidade azul possui um valor específico para o horário de ponta, sendo este 64% superior ao valor da modalidade verde, entretanto o valor para o horário fora de ponta corresponde ao mesmo valor para as duas modalidades. Para o consumo a modalidade azul apresenta um valor menor para o horário de ponta, sendo este 97% inferior a modalidade verde. Dessa forma entende-se que a modalidade horária azul é ideal para clientes que possuam um consumo alto no horário de ponta, entretanto tenham uma demanda baixa e a modalidade verde para cliente que possuam um baixo consumo na ponta.

O faturamento na baixa tensão não possui distinção de horário o que pode ser mais vantajoso em alguns casos, contudo, a norma 414/2010 da ANEEL estabelece alguns critérios para que unidades ligadas em tensão primária possam ser faturadas por essa modalidade, dentre eles que a potência nominal total dos transformadores da unidades não seja superior a 112,5kVA.

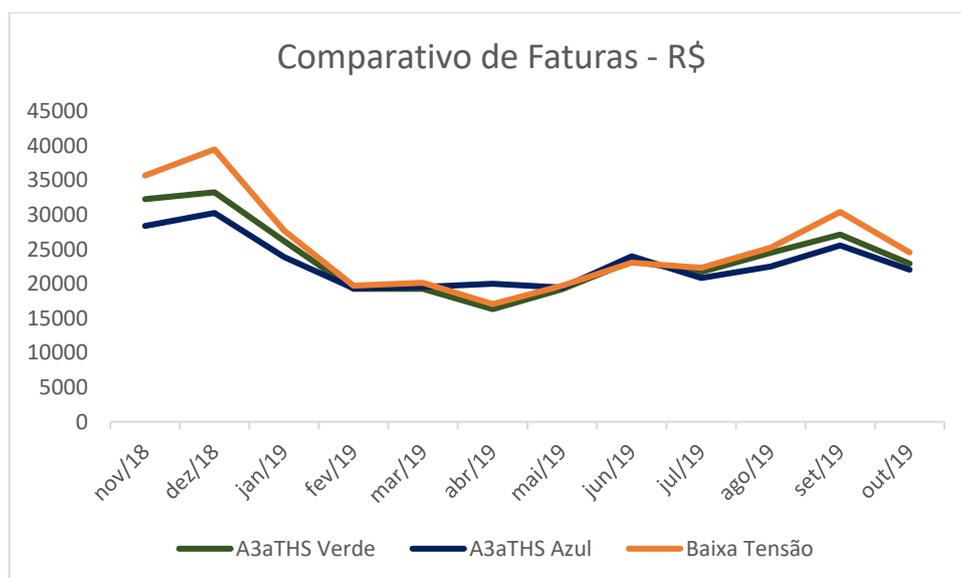
4.2.1 Unidade 1

Para realizar a simulação da unidade 1 foi inicialmente verificado os impactos relativos à energia gerados da adequação operacional em março de 2019, pois influenciará diretamente nos cálculos para os meses anteriores. Foi observado que após a adequação as demandas medidas foram menores que nos meses anteriores, como é possível ver na figura 8. Desse modo, para efeito de cálculo foi considerado o valor médio das demandas medidas dos meses de abril a outubro de 2019 para os valores das demandas dos meses anteriores a mudança, entretanto os valores relativos ao consumo foram mantidos. Os resultados são apresentados pelos gráficos presentes nas figuras 13 e 14.

Figura 13 - Comparação entre as demandas – unidade 1

Fonte: Autor.

A figura 13 apresenta a comparação entre a demanda contratada e a demanda ideal de acordo com a operação da unidade para as modalidades apresentadas. É possível observar que a demanda contratada está 22% superior ao valor ideal, o que representa um custo desnecessário para a unidade. Após a correção da demanda, o segundo passo do simulador é comparar os valores entre os grupos tarifários estudados.

Figura 14 - Comparativo entre as faturas – unidade 1

Fonte: Autor.

Ao analisar a simulação para todos os 12 meses de amostragem é possível identificar que a modalidade tarifária THS azul é a mais rentável para a unidade, entretanto há meses em que a modalidade se torna mais cara devido a sazonalidade, e assim o consumo no horário de ponta é reduzido. A tabela 3 apresenta os valores comparativos mês a mês.

Tabela 7 - Comparativo entre as faturas – unidade 1

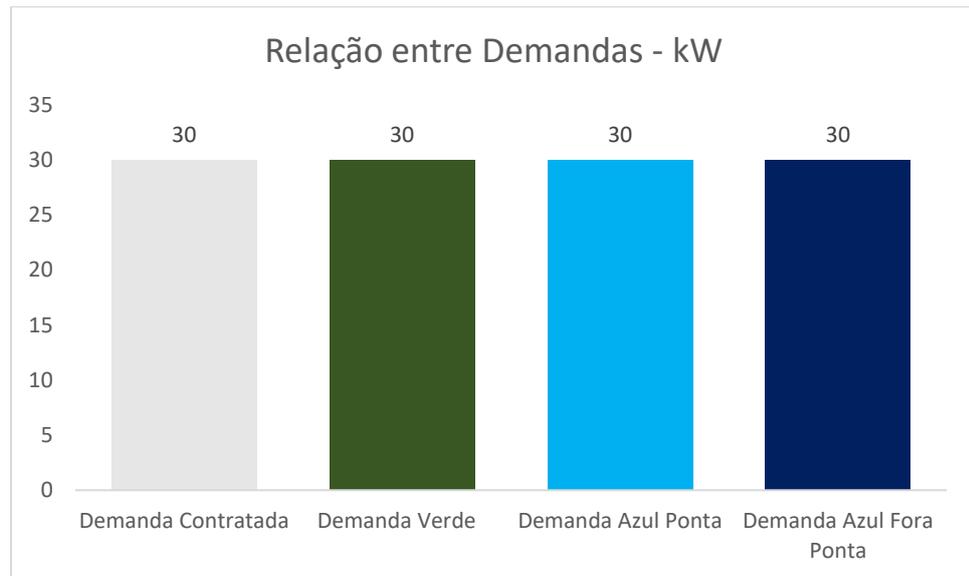
Mês	Atual	Horária Azul	Redução	%
nov/18	R\$ 32.906,10	R\$ 28.344,29	R\$ 4.561,81	14%
dez/18	R\$ 33.905,57	R\$ 30.243,85	R\$ 3.661,72	11%
jan/19	R\$ 26.857,07	R\$ 23.893,63	R\$ 2.963,44	11%
fev/19	R\$ 19.897,34	R\$ 19.344,84	R\$ 552,50	3%
mar/19	R\$ 19.912,09	R\$ 19.531,04	R\$ 381,05	2%
abr/19	R\$ 16.582,66	R\$ 19.994,54	-R\$ 3.411,88	-21%
mai/19	R\$ 19.779,76	R\$ 19.421,44	R\$ 358,32	2%
jun/19	R\$ 22.835,82	R\$ 23.989,50	-R\$ 1.153,68	-5%
jul/19	R\$ 22.383,00	R\$ 20.830,40	R\$ 1.552,59	7%
ago/19	R\$ 25.127,58	R\$ 22.510,60	R\$ 2.616,98	10%
set/19	R\$ 27.766,17	R\$ 25.544,69	R\$ 2.221,48	8%
out/19	R\$ 23.588,22	R\$ 22.019,56	R\$ 1.568,67	7%
Total	R\$ 291.541,38	R\$ 275.668,37	R\$ 15.873,01	5%

Fonte: Autor.

A simulação mostra uma redução média mensal de R\$1.322,75 com a correção da demanda contratada e a alteração da estrutura tarifária, o que representa uma economia de 5% no custo de energia elétrica ao final de um ano.

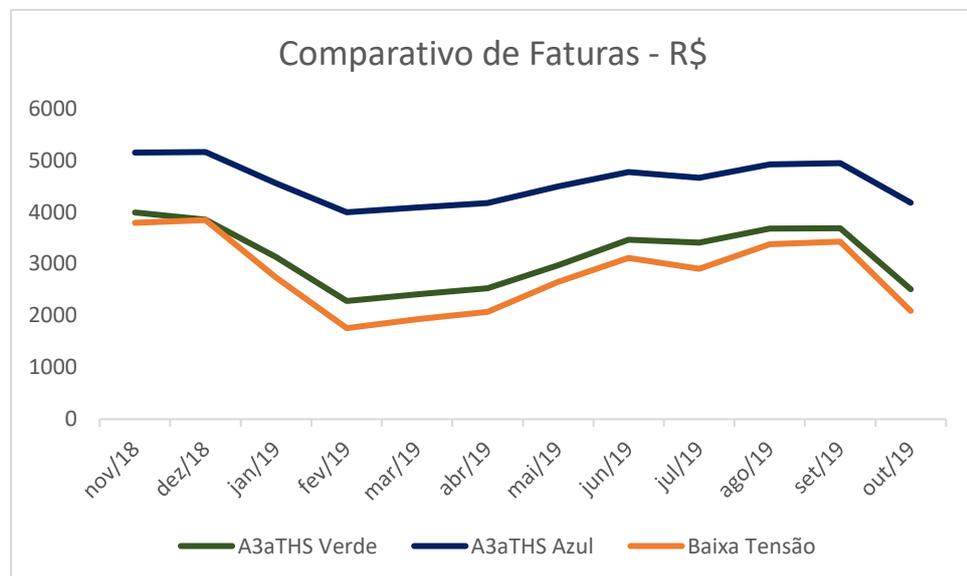
4.2.2 Unidade 2

A unidade 2 não passou por nenhuma adequação operacional e seu funcionamento foi contínuo durante os 12 últimos meses, com exceção do mês de agosto de 2019 que foi registrado uma demanda medida superior as demais, entretanto não foi encontrada a causa dessa diferença. Dessa forma, foi desconsiderado essa anormalidade e utilizado a média das demandas para efeito de cálculo naquele mês. Os resultados são melhores apresentados nas figuras 15 e 16.

Figura 15 - Comparação entre as demandas – unidade 2

Fonte: Autor.

Como foi analisado na figura 8 a demanda medida na unidade 2 é inferior a demanda mínima para o enquadramento tarifário atual. Sendo assim, não há alteração da demanda.

Figura 16 - Comparativo entre as Faturas – unidade 2

Fonte: Autor.

Após a simulação é observado que o faturamento pela baixa tensão é mais vantajoso para a unidade, isso é explicado devido à baixa demanda medida ser inferior ao mínimo exigido por norma, o que inviabiliza a modalidade horária azul e a modalidade horária verde.

Tabela 8 - Comparativo entre as faturas – unidade 2

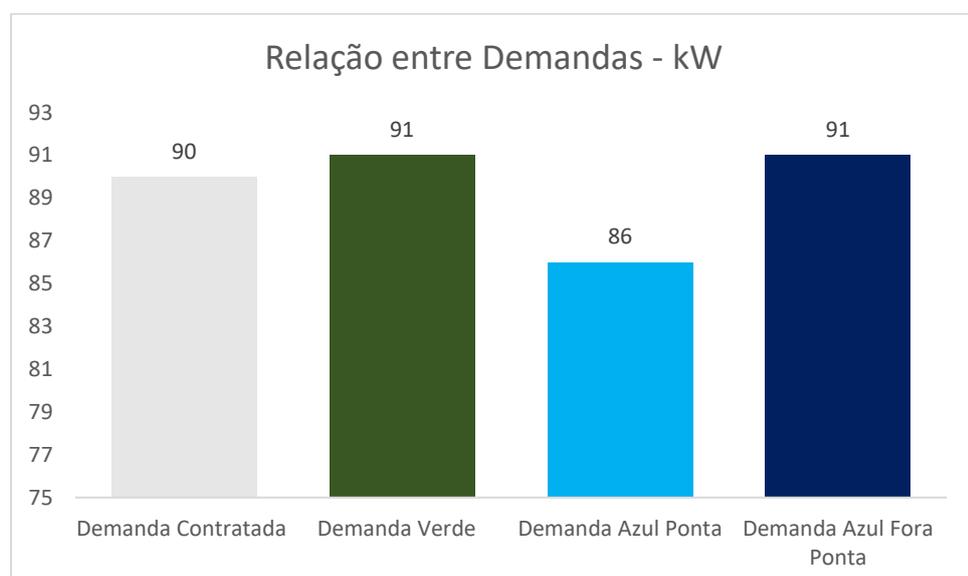
Mês	Atual	Baixa Tensão	Redução	%
nov/18	R\$ 3.991,38	R\$ 3.788,75	R\$ 202,63	5%
dez/18	R\$ 3.853,72	R\$ 3.844,97	R\$ 8,76	0,2%
jan/19	R\$ 3.133,79	R\$ 2.739,94	R\$ 393,85	13%
fev/19	R\$ 2.281,81	R\$ 1.757,70	R\$ 524,11	23%
mar/19	R\$ 2.410,16	R\$ 1.927,01	R\$ 483,15	20%
abr/19	R\$ 2.525,40	R\$ 2.071,76	R\$ 453,64	18%
mai/19	R\$ 2.971,42	R\$ 2.652,70	R\$ 318,71	11%
jun/19	R\$ 3.466,41	R\$ 3.116,04	R\$ 350,37	10%
jul/19	R\$ 3.409,45	R\$ 2.904,73	R\$ 504,72	15%
ago/19	R\$ 3.681,09	R\$ 3.379,69	R\$ 301,39	8%
set/19	R\$ 3.687,70	R\$ 3.429,45	R\$ 258,25	7%
out/19	R\$ 2.511,80	R\$ 2.091,15	R\$ 420,65	17%
Total	R\$ 37.924,11	R\$ 33.703,89	R\$ 4.220,22	11%

Fonte: Autor.

A simulação mostra uma redução média mensal de R\$351,69 com a alteração da estrutura tarifária, representando uma economia de 11% ao final de um ano.

4.2.3 Unidade 3

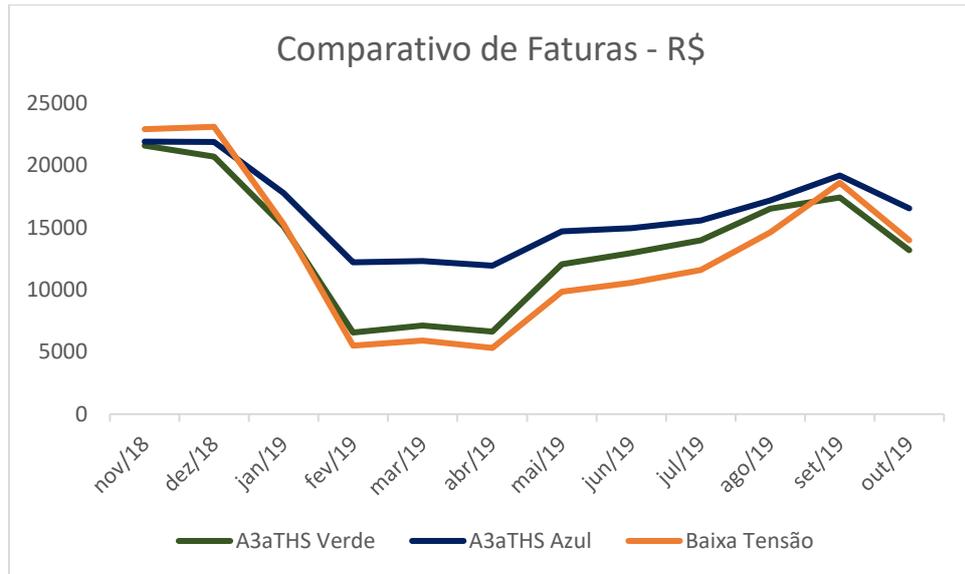
A unidade 3, responsável pelo tratamento e distribuição, não teve nenhuma anormalidade em seu registro de consumo no período de amostragem, e portando, foi utilizado os valores da tabela 3 sem nenhuma alteração para a simulação. A comparação entre os grupos tarifários é apresentados nas figuras 17 e 18.

Figura 17 - Comparação entre as demandas – unidade 3

Fonte: Autor.

Como foi analisado na figura 17 o valor da demanda simulada ficou próximo ao valor da demanda contratada, apresentando um desvio de apenas 1,1%.

Figura 18 - Comparativo entre as faturas – unidade 3



Fonte: Autor.

A partir da figura 18 é possível observar que nos meses em que a unidade possui maior consumo a modalidade verde é mais rentável, entretanto nos meses com menor consumo o faturamento em baixa tensão passa a ser mais vantajoso. Como a unidade possui um transformador com potência de 112,5kVA, é possível que a unidade seja faturada nessa classe tarifária.

Tabela 9 - Comparativo entre as faturas – unidade 3

Mês	Atual	Baixa Tensão	Redução	%
nov/18	R\$ 21.571,85	R\$ 22.930,23	-R\$ 1.358,37	-6%
dez/18	R\$ 20.681,39	R\$ 23.113,10	-R\$ 2.431,71	-12%
jan/19	R\$ 15.432,58	R\$ 15.290,69	R\$ 141,88	1%
fev/19	R\$ 6.889,59	R\$ 5.510,91	R\$ 1.378,68	20%
mar/19	R\$ 7.109,44	R\$ 5.915,43	R\$ 1.194,00	17%
abr/19	R\$ 6.607,82	R\$ 5.319,63	R\$ 1.288,20	19%
mai/19	R\$ 12.040,31	R\$ 9.841,83	R\$ 2.198,49	18%
jun/19	R\$ 12.948,84	R\$ 10.578,51	R\$ 2.370,33	18%
jul/19	R\$ 13.988,36	R\$ 11.590,48	R\$ 2.397,88	17%
ago/19	R\$ 16.507,58	R\$ 14.617,99	R\$ 1.889,59	11%
set/19	R\$ 17.397,86	R\$ 18.594,78	-R\$ 1.196,92	-7%
out/19	R\$ 13.160,75	R\$ 13.987,93	-R\$ 827,17	-6%
Total	R\$ 164.336,37	R\$ 157.291,50	R\$ 7.044,87	4%

Fonte: Autor.

A simulação mostra uma redução média mensal de R\$587,07 com a alteração da estrutura tarifária. Esse valor representa uma economia de 4% ao final de um ano.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusões Gerais

O trabalho exposto apresentou um estudo de eficiência energética, visando a redução de custos por meio de medidas administrativas de uma unidade de tratamento simplificada de água. Após um estudo aprofundado foi desenvolvido um simulador matemático para avaliar a alteração da demanda contratada e o correto enquadramento tarifário de acordo as curvas de consumo e demanda medida ao longo de um ano de amostragem.

Ao analisar os dados da unidade 1, foi identificado que após a mudança operacional, a demanda medida se tornou menor e incompatível com a demanda contratada junto a concessionária de energia, resultando em um custo desnecessário para a empresa. Após a simulação foi observado uma redução anual de R\$6.345,51 apenas com a alteração da demanda contratada e de R\$15.873,01 somando com a adequação para a estrutura tarifária horária azul, correspondendo a um total de 5% de redução com o custo com energia elétrica da unidade.

A unidade 2, responsável por parte da captação, contém apenas uma bomba hidráulica submersa de 10cv, dispondo assim de uma demanda medida 65,5% inferior a demanda mínima contratada, de 30kW, para poder ser faturada na estrutura horária verde (atual). Com a simulação foi constatado que uma mudança na estrutura de faturamento para a baixa tensão, retornaria uma economia no custo com energia elétrica de R\$4.220,22 ao longo de um ano, representando um total de 11%. Essa redução ocorre devido a estrutura proposta não exigir uma demanda contratada e ter uma tarifa única (sem distinção horária) ideal para a unidade.

A terceira unidade diferente das demais, possui uma demanda contratada condizente com a medida, apresentando na simulação uma demanda ideal apenas 1,1% maior. Entretanto através da curva de consumo da unidade foi possível identificar um ganho com a adequação da estrutura tarifária para baixa tensão, resultando em uma economia anual de R\$7.044,87, o que totaliza 4% de redução.

Além disso é possível identificar a sazonalidade no saneamento, em decorrência dos períodos chuvosos e de estiagem na região estudada. Dessa forma, é observado que os valores simulados em alguns meses não são os mais indicados, entretanto quando são avaliados todos os meses do ano, as demandas simuladas e as estruturas tarifárias sugeridas apresentam uma maior redução nos custos com energia elétrica para a empresa.

Ademais, pode-se observar que as adequações sugeridas para as três unidades consumidoras que compõem o parque da unidade de tratamento simplificada de água, apresentam uma redução significativa nos custos com energia elétrica. Ao todo, somando as

correções da demanda contratada e do correto enquadramento tarifário o estudo apresentou uma redução anual de 5% para a UTS.

5.2 Trabalhos Futuros

O estudo de eficiência energética proposto por este trabalho apresentou apenas medidas administrativas, em específico a correção da demanda contrata e o correto enquadramento tarifário. Entretanto, alguns pontos de possíveis ganhos foram encontrados ao longo deste trabalho, como por exemplo:

- Correção do fator de potência, eliminando os custos com energia reativa;
- Otimização da reserva de água com aumento do bombeamento fora do horário de ponta;
- Instalação de um grupo gerador para trabalhar no horário de ponta e em casos de falta de energia;

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL. **Reajuste Tarifário Anual**. Disponível em <<https://www.aneel.gov.br/entendendo-a-tarifa/>>. Acessado em 28/11/2019.

ANEEL. **Resolução Homologatória nº 2.567 de 02 de julho de 2019**. Homologa o resultado do Reajuste Tarifário Anual de 2019, as Tarifas de Energia – TE e as Tarifas de Uso do Sistema de Distribuição – TUSD referentes à Energisa Tocantins – Distribuidora de Energia S.A. – ET, e dá outras providências. Brasília, 2015. Disponível em <<https://www.aneel.gov.br/>>. Acessado em 28/11/2019.

ALTOÉ, L., COSTA, J. M., OLIVEIRA FILHO D., MARTINEZ, F. J. R., FERRAREZ, A. H., VIANA, L. A., **Políticas públicas de incentivo à eficiência energética**. Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo, São Paulo, v. 31, ed. 89, p. 285-297, 22 maio 2017.

AZEVEDO NETTO, J. M., FERNANDEZ, M. F., ARAUJO, R., ITO, A. E., **Manual de Hidráulica**. 8. ed. São Paulo: EDGARD BLÜCHER LTDA, 1998. 664 p.

BORDIM, J. R. G. **Instalação de Banco de Capacitores em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica para Correção de Fator de Potência e Regulação de Tensão: Projeto e Simulação Computacional**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) Escola de Engenharia de São Carlo da Universidade de São Paulo. 2011.

BRUNETTI, Franco. **Mecânica dos Fluidos**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008. 425 p.

BRASIL. **Resolução normativa ANEEL. nº 414/2010 de 09 de setembro de 2010**. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>>. Acessado em 27/11/2019.

CHEREM, L. B., **Avaliação do uso de inversor de frequência em estação elevatória de água**. 2016. 69 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2016.

COPASA. **Tratamento da Água**. Disponível em <<http://www.copasa.com.br/wps/portal/internet/agua-de-qualidade/tratamento-da-agua>>. Acessado em 28/11/2019

CREDER, Hélio. **Instalações Elétricas**. 15. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007. 427 p.

DIXON, R. K., MCGOWAN E., ONYSKO, G., Richard M. SCHEER, R. M., . **US Energy Conservation and Efficiency policies: Challenges and Opportunities**. Energy Policy, v. 38, issue 11, p. 6398-408, 2010.

ENERGISA. Tarifa branca beneficiará apenas clientes que consomem mais energia fora dos horários de pico. Disponível em

<<https://www.energisa.com.br/Paginas/informacoes/sua-conta/tarifa-branca.aspx>>.

Acessado em 28/11/2019.

EPE. Anuário Estatístico de Energia Elétrica. Disponível em:

<<http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica-interativo>>. Acesso em 28/11/2019

MOURA, G. N. P., A Relação Entre Água e Energia: Gestão Energética nos Sistemas de Abastecimento de Água das Companhias de Saneamento Básico do Brasil. Dissertação (Mestrado) - UFRJ/ COPPE/ Programa de Planejamento Energético. 2010.

NETO, M. S. A. Medidas de Eficiência Energética em Serviços de Distribuição de Água e Saneamento. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2008.

PROCEL. Manual de Tarifação da Energia Elétrica. Disponível em:

<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Manual%20de%20Tarif%20En%20EI%20-%20Procel_EPP%20-%20Agosto-2011.pdf>. Acesso em 28/11/2019

PROCEL. Resultados PROCEL 2019. Disponível em:

<http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2019/Procel_rel_2019_web.pdf>.

Acessado em 29/11/2019.

SNIS. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2017. Brasília: SNS/MDR, 2019. 226 p.: il.

VIANA, A. N. C., BORTONO, E. C., NOGUEIRA, F. J. H., HADDAD, J., NOGUEIRA, L. A. H., VENTURINI, O. J., YAMACHITA, R. A., Eficiência energética: fundamentos e aplicações. Elektro, Universidade Federal de Itajubá, Excen, Fupai, v. 1, 2012.

REIS, Júlio César Silva dos; KIKUCHI, George Tsuruji. Banco de Capacitores para Correção de Fator de Potência. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) Faculdade do Vale do Paraíba; Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo. 2015

WEG. Manual para Correção do Fator de Potência. Jaraguá do Sul. 2009.