

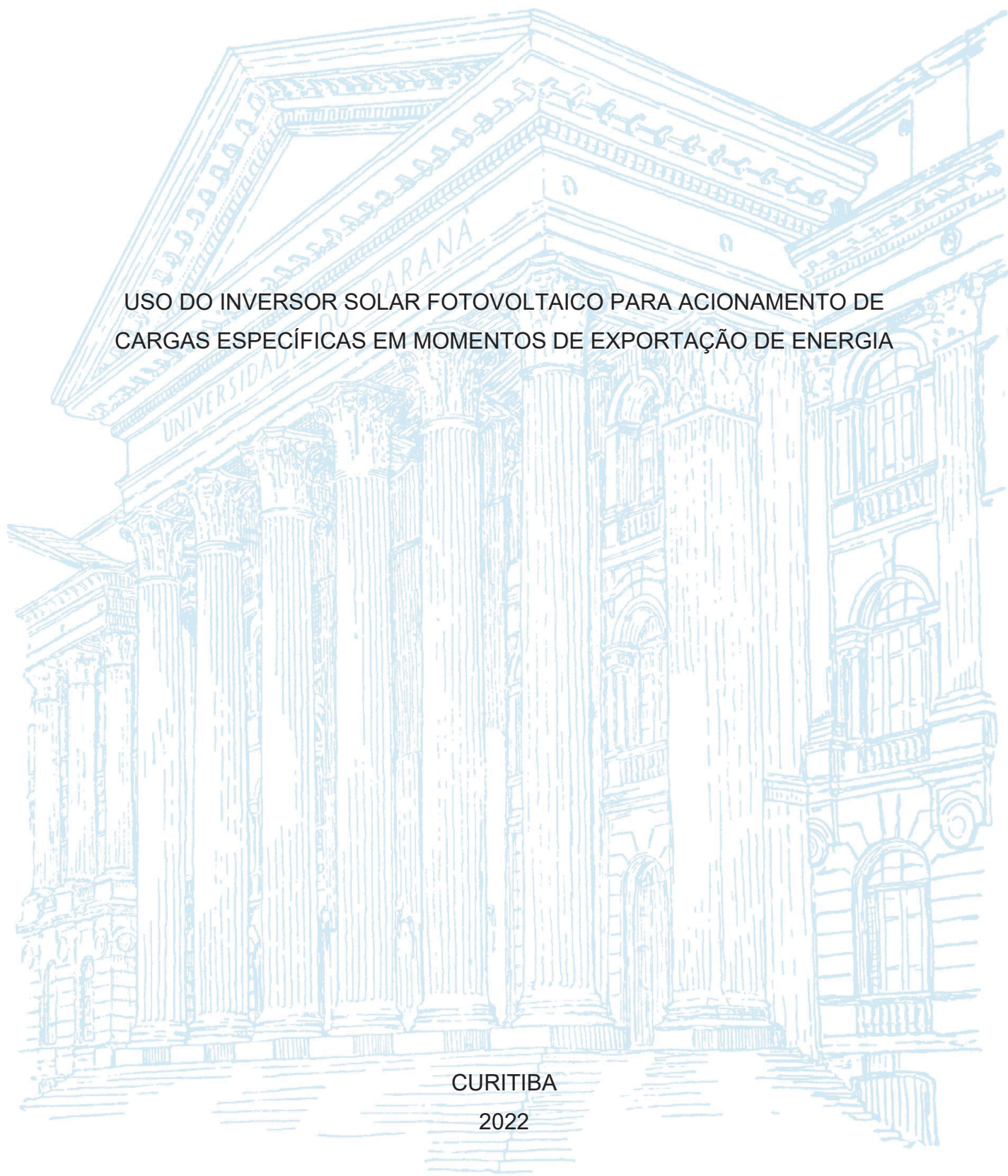
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GABRIEL NERI DE SOUZA

USO DO INVERSOR SOLAR FOTOVOLTAICO PARA ACIONAMENTO DE  
CARGAS ESPECÍFICAS EM MOMENTOS DE EXPORTAÇÃO DE ENERGIA

CURITIBA

2022



GABRIEL NERI DE SOUZA

USO DO INVERSOR SOLAR FOTOVOLTAICO PARA ACIONAMENTO DE  
CARGAS ESPECÍFICAS EM MOMENTOS DE EXPORTAÇÃO DE ENERGIA

Monografia apresentada ao curso de Pós-Graduação em Eficiência energética e geração distribuída, Setor de Engenharia elétrica, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Eficiência energética e geração distribuída

Orientador: Prof. Ph.D André Augusto Mariano

CURITIBA

2022



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR DE TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA -  
40001016317E1

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Monografia de Especialização de GABRIEL NERI DE SOUZA intitulada: USO DO INVERSOR SOLAR FOTOVOLTAICO PARA ACIONAMENTO DE CARGAS ESPECÍFICAS EM MOMENTOS DE EXPORTAÇÃO DE ENERGIA, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

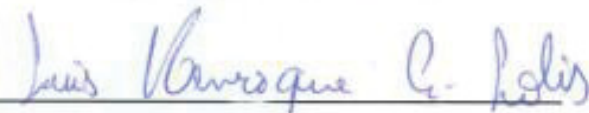
A outorga do título de especialista está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 18 de fevereiro de 2022.

  
\_\_\_\_\_  
André Augusto Mariano

Presidente da Banca Examinadora

Prof. André A. Mariano, Ph.D.  
Depto. Engenharia Elétrica - UFPR  
Mat.: 202395 / 1847807

  
\_\_\_\_\_  
Luis Henrique Assumpção Lolis

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

## RESUMO

Unidades consumidoras que contam com geração fotovoltaica têm crescido expressivamente nos últimos anos. A energia gerada por essas unidades consumidoras (e produtoras) em excesso é injetada nas redes da concessionária de energia. Da mesma forma, quando a geração fotovoltaica não é suficiente para atender a demanda de carga, a energia necessária para a operação é fornecida pela concessionária. Um balanço entre energia gerada e consumida é feito mensalmente, o que dá origem a tarifação do usuário do sistema. Fica evidente que, quanto menos o usuário demandar de energia da concessionária, menor será a tarifa mensal que o mesmo deve pagar. No entanto, nota-se que o acionamento das cargas nas unidades consumidoras nem sempre correspondem aos momentos ótimos de geração do sistema fotovoltaico. Visando aumentar a coincidência entre demanda e geração de energia (*self-consuming*) nas unidades consumidoras, este trabalho propõe a automação de inversores fotovoltaicos para acionar cargas controláveis em horários de maior produção de energia pelo sistema fotovoltaico. Para tanto, uma residência foi escolhida como objeto de estudo. Medições de consumo de energia com e sem o sistema de acionamento otimizado de cargas foram efetuadas, mostrando que o acionamento inteligente das cargas pode levar a economias consideráveis. No estudo em questão, o acionamento otimizado de uma resistência de aquecimento de água foi implantado. Obteve-se uma economia de 6,87% na fatura de energia com esse tipo de sistema.

Palavras-chave: Autoconsumo de energia, acionamento de cargas, inversor fotovoltaico, energia fotovoltaica, cargas controláveis.

## ABSTRACT

Consumer units with photovoltaic systems have grown in the last few years. The excess energy produced by these consumer units (and producers) is feed-in in the energy concessionaire. In this way, when the production of the photovoltaic isn't enough to supply the charge demand, the concessionaire provided the necessary energy. The balance between produced and consumed energy is monthly, which results in the use system fee. Based on that, the less the unit demands the energy of the concessionaire, less is the monthly fee. It's seen that the load drive in the consumer units does not always match the great moments of the photovoltaic generation. Aiming to increase coincidence, this monograph proposed one automation with photovoltaic inverter to manage controlled loads in times with higher production of energy by the solar system installed. For that, one household was chosen as a study objective. Measurements of energy consumption with load management and without were made, showing that intelligence load charge could bring important saves. In the study, the inteligente drive load in a household in the heat water system was installed. In conclusion, savings of 6,87 % in the energy bill.

Keywords: energy self consumption, load charge, photovoltaic inverter, photovoltaic energy, controlled loads.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>3</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	9
1.2 OBJETIVOS .....	10
Objetivo geral .....	10
Objetivos específicos .....	10
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>10</b>
2.1 CUSTO DA ENERGIA ELÉTRICA .....	10
2.2 MEDIÇÃO DE CONSUMO DE ENERGIA .....	17
2.3 INVERSOR FOTOVOLTAICO.....	18
2.4 ACIONAMENTO DE CARGAS.....	17
2.5 GERENCIAMENTO DO SISTEMA.....	17
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>17</b>
3.1 MEDIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA.....	18
3.2 INVERSOR FOTOVOLTAICO.....	19
3.3 PLATAFORMA DE MONITORAMENTO .....	19
3.4 RELÉ.....	20
3.5 RESISTÊNCIA ELÉTRICA DE RESERVATÓRIO TÉRMICO .....	22
<b>4 DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>23</b>
4.1 ANÁLISE DE CONSUMO DE ENERGIA E GERAÇÃO FOTOVOLTAICA.....	23
4.2 CONTROLE DE ACIONAMENTO DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA.....	25
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>27</b>
<b>6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>35</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>36</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Modalidade Tarifária Verde Copel.....	11
Figura 2 Modalidade Tarifária Verde Copel.....	11
Figura 3 Modalidade Tarifária Azul Copel .....	11
Figura 4 Tarifa convencional e Branca.....	17
Figura 5 Medidor Schneider .....	18
Figura 6 Medidor Fronius .....	18
Figura 7 Medidor Solar Edge.....	18
Figura 8 I/O Inversor Fronius.....	18
Figura 9 Smart Logger Huawei.....	18
Figura 10 Curva de Carga maximizando Self-consuming .....	17
Figura 11 Diagrama de Bloco de passo a passo da pesquisa .....	18
Figura 12 Medidor bidirecional de energia Fronius TS 65A-3 .....	18
Figura 13 Gráfico de geração e consumo de energia .....	20
Figura 14 Diagrama de instalação do relé.....	21
Figura 15 Relé instalado e conectado .....	22
Figura 16 Contator de alimentação da resistência .....	22
Figura 17 Geração e consumo de energia em dia ensolarado.....	23
Figura 18 Geração e consumo de energia em dia nublado.....	24
Figura 19 Gerenciamento de portas digitais.....	26
Figura 20 Customização de funcionamento de porta digital.....	26
Figura 21 Consumo de energia com acionamento de carga inteligente.....	28
Figura 22 Comparação de consumo de energia com e sem aplicação de cionamento de carga inteligente.....	30
Figura 23 Balanço energético outubro 2021.....	31
Figura 24 Balanço energético 03/10/2021.....	32
Figura 25 Fatura de energia outubro 2021 .....	33
Figura 26 Custo de equipamentos implantados .....	34

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 Cargas Controláveis .....	25
Tabela 2 Análise impacto dos encargos na energia consumida.....	30
Tabela 3 Impacto da redução de encargos mensais.....	32



## 1 INTRODUÇÃO

O alto custo da tarifa de energia bem como a TUSD (Tarifa de Uso de Sistema de Distribuição), incentivou a instalação de geração própria conectada à rede (*On-grid*) de pequeno e médio porte, conhecida como geração distribuída (GD), com intuito de reduzir os custos com energia elétrica.

Segundo a Aneel (Agência Nacional de Energia Elétrica) desde sua resolução normativa (RN) 482 do ano de 2012, os consumidores brasileiros possuem direito a gerar sua própria energia elétrica, desde que seja por meio de cogeração qualificada ou fontes renováveis de energia.

Em 2018 o Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ) disponibiliza o convênio 16/15 o qual possibilita os estados que aderirem, a conceder isenção de ICMS (Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Serviços), nas operações internas referente à circulação de energia elétrica, para micro e minigeração até 1 MW, as quais estão sujeitas a faturamento tratado na REN 482/2012 da ANEEL. Como a tarifa de energia é formada por Tarifa de Energia (TE) + TUSD + Encargos Setoriais, a isenção de ICMS oferecida pelo convênio não engloba o valor como um todo do kWh no abatimento de créditos de energia no sistema de compensação.

Sendo assim unidades consumidoras (UC) que possuem usina de microgeração ou minigeração são beneficiadas com a redução da conta de energia. Mesmo uma UC sendo autossuficiente em produção de energia o valor pago na conta de energia não é igual ao longo dos meses, devido a itens que compõem a conta de energia como TUSD e bandeiras tarifárias.

Unidades consumidoras as quais possuem um perfil de carga, que coincidem com a curva de geração própria, são menos susceptíveis a encargos, TUSD e bandeiras tarifárias, pois utilizam a energia gerada em sua própria planta, reduzindo assim a quantidade de energia recebida da concessionária.

Existem cargas elétricas dentro de uma instalação que não precisam funcionar em um momento específico, ou seja, modificar seu horário de funcionamento pode não impactar em seu resultado final, como é o exemplo de: resistência do reservatório térmico, poço artesiano, máquina de lavar, etc. Esses equipamentos também são denominados cargas controláveis, já os demais

equipamentos elétricos de uma instalação, os quais não podem alterar seu horário de funcionamento são denominados cargas não controláveis.

Com uma combinação de monitoramento, comunicação e controle pode ser implantado a gestão energética de uma residência, instalação comercial ou indústria.

Automatizar o acionamento do aquecimento elétrico em uma instalação, para que o mesmo funcione em momentos que a geração de energia é superior a toda energia consumida na planta, evita a exportação de energia para a rede da concessionária e aumenta o *self-consuming* (Amabile L., Bresch-Pietri D., Hajje G.E, Labbe S., Petit N., 2020). Por conseguinte, a energia elétrica consumida fornecida pela concessionária diminui, resultando assim em uma conta de energia com menos encargos.

Além do cenário atual, novas regulações do sistema elétrico podem impactar diretamente no comércio de geração distribuída. Na Europa, por exemplo, a diretiva 2018/2001 foi publicada com o intuito de promover o uso de energia por meio de fontes renováveis, como geração de energia renovável, armazenamento e até a venda desta (EU 2018/2001).

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Uma unidade consumidora que é também produtora de sua própria energia elétrica poder ter diferença no valor da conta de energia de acordo com seu perfil de consumo.

Sintetizando a energia suprida instantaneamente pela geração própria economiza 100% do valor do kWh. A energia fornecida pela concessionária, e depois compensada por meio de créditos abate a parcela referente a tarifa de energia (TE), essa isenta de ICMS conforme ao convênio 16/15 do Confaz, porém o mesmo é incidente sobre a TUSD,

Por conseguinte, o acionamento de algumas cargas da instalação no momento em que a geração própria está exportando energia para a rede da concessionária pode ser vantajoso e trazer maior economia, além de ficar menos susceptível a mudanças regulatórias futuras, as quais podem interferir na conta de energia de unidades consumidoras com geração de energia.

Para realizar a leitura das informações fornecidas pelo medidor de grandezas elétricas, e consecutivamente o acionamento das cargas desejadas

equipamentos como CLP (controlador lógico programável) podem ser utilizados. No entanto, locais que possuem geração fotovoltaica podem utilizar o próprio inversor fotovoltaica, desde que esse recurso esteja disponível no equipamento.

Com a aplicação de um gerenciamento visando acionar as cargas em momentos específicos com intuito de maximizar o *self-consuming*, espera-se uma economia na conta de energia.

## 1.2 OBJETIVOS

### Objetivo geral

Analisar a viabilidade de utilização de um inversor fotovoltaico para acionar as cargas de uma residência em momentos que a geração fotovoltaica excede o consumo de energia, afim de reduzir a quantidade de energia que a unidade consumidora recebe da concessionária.

### Objetivos específicos

- Analisar perfil de consumo e demanda de uma residência.
- Identificar maneiras de alterar o momento de funcionamento em equipamentos elétricos;
- Utilizar as entradas I/O de inversores fotovoltaico para fazer acionamento de cargas.
- Aumentar o autoconsumo de energia da residência.
- Averiguar a viabilidade da implantação de um sistema de acionamentos de cargas utilizando o inversor fotovoltaico.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Custo da Energia Elétrica

#### Modalidades Tarifárias

Segundo a ANEEL (REN 414/2020) consumidores de energia são classificados de acordo com a tensão de atendimento.

Classificação Grupo A: unidades consumidoras atendidas em nível de tensão igual ou superior a 2,3 kV, ou atendidas por sistema subterrâneo de distribuição em tensão secundária. Esse grupo possui duas modalidades horo sazonal verde ou horo sazonal azul, o qual possuem tarifa binômia, definido a primeira como horário de ponta, ou seja, 3 horas consecutivas em horário de início definido pela concessionária local, levando em conta a curva de carga do seu sistema elétrico. E o horário fora de ponta, que tem valor reduzido referente ao horário de ponta, e representa todo o restante do horário de consumo. Além disso as unidades consumidoras tarifadas pelo grupo A, tem o custo de demanda de potência, valor esse que a unidade previamente contrata da concessionária com intuito que a mesma tenha disponibilidade de energia para atender a unidade.

Figura 1 Modalidade Tarifária Verde Copel

Fora de Ponta			
	Demanda	Consumo	
Sem Imposto	17,07 TUSD (R\$/kW)	0,27536 TE (R\$/kWh)	0,08260 TUSD (R\$/kWh)
Com Imposto	25,40 TUSD (R\$/kW)	0,40976 TE (R\$/kWh)	0,12292 TUSD (R\$/kWh)

Ponta			
	Demanda	Consumo	
Sem Imposto	17,07 TUSD (R\$/kW)	0,43787 TE (R\$/kWh)	0,95922 TUSD Ponta (R\$/kWh)*
Com Imposto	25,40 TUSD (R\$/kW)	0,65159 TE (R\$/kWh)	1,42741 TUSD Ponta (R\$/kWh)**

Figura 2 Modalidade Tarifária Verde Copel

Figura 3 Modalidade Tarifária Azul Copel

Fora de Ponta			
	Demanda	Consumo	
Sem Imposto	17,07 TUSD (R\$/kW)	0,27536 TE (R\$/kWh)	0,08260 TUSD (R\$/kWh)
Com Imposto	25,40 TUSD (R\$/kW)	0,40976 TE (R\$/kWh)	0,12292 TUSD (R\$/kWh)

Ponta			
	Demanda	Consumo	
Sem Imposto	36,08 TUSD (R\$/kW)	0,43787 TE (R\$/kWh)	0,08260 TUSD Ponta (R\$/kWh)*
Com Imposto	53,69 TUSD (R\$/kW)	0,65159 TE (R\$/kWh)	0,12292 TUSD Ponta (R\$/kWh)**

Classificação Grupo B: unidades consumidoras atendidas com tensão inferior a 2,3 kV, caracterizado pela tarifa monômnia e isentas de cobrança de demanda de potência. Ou pode optar pela tarifa Branca, a qual possui distintos valores conforme a hora do dia.

Figura 4 Tarifa convencional e Branca

		TE (R\$/kWh)	TUSD (R\$/kWh)
<b>Convencional</b>	Sem imposto	0,28890	0,26991
	Com imposto	0,42991	0,40165
<b>Fora de Ponta</b>			
	Sem imposto	0,27536	0,19856
	Com imposto	0,40976	0,29548
<b>Branca</b>	<b>Intermediário</b>		
	Sem imposto	0,27536	0,38018
	Com imposto	0,40976	0,56574
	<b>Ponta</b>		
	Sem imposto	0,43787	0,56180
	Com imposto	0,65159	0,83601

## 2.2 Medição de Consumo de Energia

Cada instalação consumidora de energia elétrica tem um perfil de consumo próprio, mesmo que seja do mesmo grupo como, residência, comércio ou indústrias o consumo depende não só dos equipamentos elétricos que possuem no local, mas também como são usados. Para conhecer o perfil de demanda de uma instalação é necessário um medidor de energia que tenha capacidade de armazenar os dados medidos, ou suporte que seja ligado a um equipamento que disponha dessa função. Os “*smart meters*” são de energia em tempo real, os medidores inteligentes também funcionam como a principal base de dados para o gerenciamento da energia consumida, pois disponibiliza de informações como potência instantânea, gráficos horários de consumo (Wu, Zhang, Zhou, Li, 2015). Com a instalação desse dispositivo, tem início ao monitoramento do consumo de energia da instalação, com a introdução do dispositivo na entrada do quadro de distribuição, tem se registro de consumo de todos equipamentos elétricos ligado ao quadro de distribuição em questão (WÍDEN, 2014). Alguns fabricantes de inversores fotovoltaicos já

disponibilizam desse equipamento, o qual facilita sua leitura de dados e instalação junto a geração fotovoltaica, como a Fronius que disponibiliza seu medidor próprio, o qual se comunica com o inversor fotovoltaico e ainda disponibiliza de interface web para gerenciamento do mesmo.

Figura 5 Medidor Schneider



Figura 6 Medidor Fronius



Figura 7 Medidor Solar Edge



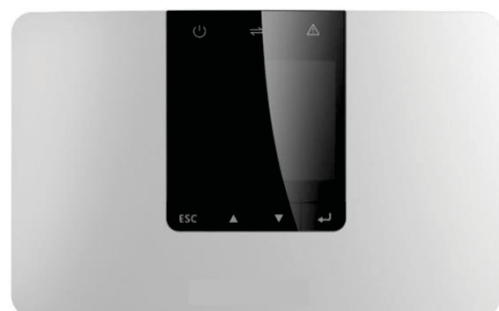
### 2.3 INVERSOR FOTOVOLTAICO

O inversor fotovoltaico é responsável por fazer a conversão c.c da energia fornecida pelos painéis fotovoltaicos para c.a com amplitude de tensão e frequência de acordo com a rede elétrica e os padrões da concessionária local (Pinho, Galdino, 2014). Uma maneira de fazer o acionamento de cargas, no momento de exportação de energia é por meio de portas digitais de entradas e saídas intrínsecas ao inversor, ou por meio de equipamentos externos como CLP, ou datalogger, comunicados via protocolo como RS 485, encontrado em grande parte dos inversores.

Figura 8 I/O Inversor Fronius



Figura 9 Smart Logger Huawei



## 2.4 Acionamento de Cargas

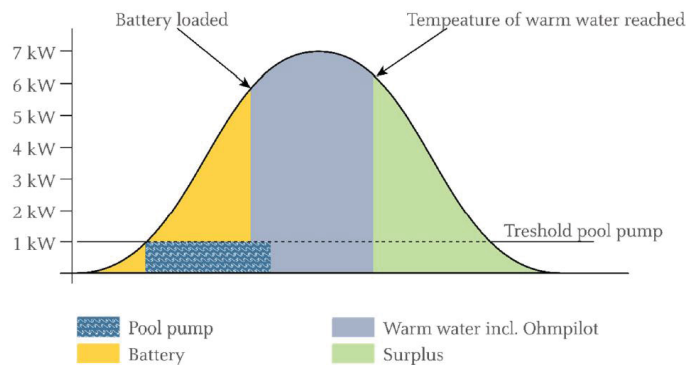
Para o acionamento dos equipamentos elétricos, o inversor fotovoltaico, medidor de energia, datalogger ou CLP deve enviar um sinal a carga, como esse é de baixa intensidade é necessário a instalação de um relé ou contator para que tenha energia suficiente para iniciar o acionamento do próprio equipamento. A partir das informações obtidas pelo *smart meter* é possível tomar decisões de quais equipamentos serão acionados e controlados (Murgescu, El-Leathey, Chihaiia, Cîrciumaru, 2019).

## 2.5 Gerenciamento do Sistema

Existem equipamentos elétricos os quais devem ser acionados imediatamente para sua utilização, esse equipamento muitas vezes não pode ter sua hora ou momento de funcionamento alterado. Entretanto equipamentos para aquecimento de água como boiler, compressor, bomba para encher reservatório de água, motor de piscina ou lagoa, irrigação e outras aplicações, podem ter seu horário de funcionamento alterado sem que atrapalhe o resultado final de sua aplicação. Com isso, aplicando uma medição de consumo de energia no ponto de entrada da instalação, e comparando com a geração do sistema fotovoltaico implantado, é possível acionar esse tipo de cargas em momentos de exportação de energia, assim aumentando o *self-consuming*, e diminuindo o fornecimento de energia pela concessionária, evitando assim a incidência de ICMS sobre a TUSD referente a essa parcela de energia, pois a energia gerada pelo gerador fotovoltaico supre instantaneamente o consumo da instalação, não transitando pela rede da concessionária.

Essa aplicação também pode ser aplicada junto ao uso de baterias, no caso de unidades consumidoras com modalidade tarifária de tarifa branca ou tarifa binômica, pode usar o excedente de geração para armazenar energia, e descarregar a mesma em momentos de falta ou em horários que a tarifa de energia tenha maior valor.

Figura 10 Curva de Carga maximizando Self-consuming



As ações sugeridas acima e aplicadas no desenvolvimento do projeto, exploram o recurso já existente nas unidades geradoras de energia fotovoltaica, e resultam em benefício financeiro com pouco investimento.

Em consumidores de grande porte como indústria, grandes centros comerciais, polos agrícolas ações a maximização do consumo junto a carga, também pode reduzir a carga dos condutores de alimentação, por consequência minimizando a perda por condução, e redução de temperatura do mesmo.

A redução de demanda na planta é um benefício intrínseco a qualquer ação visando o self-consuming.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

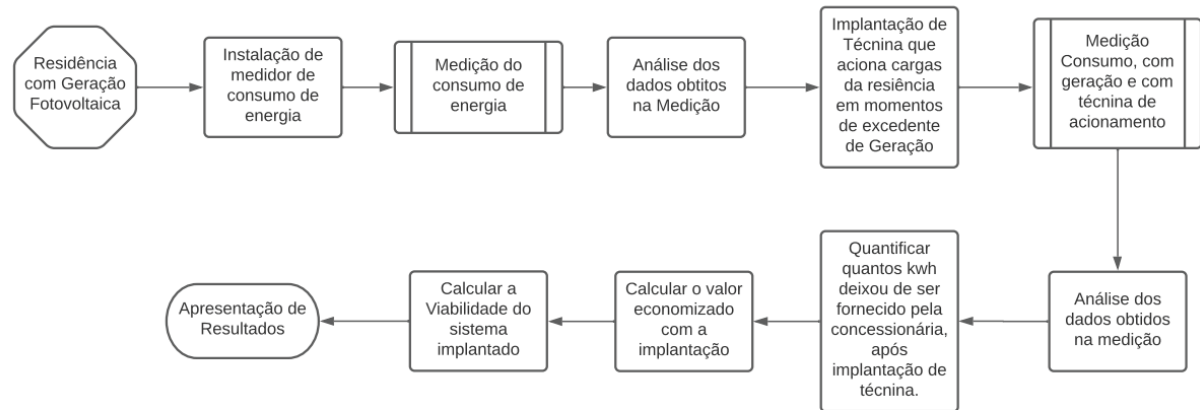
Com base no diagrama apresentado na Figura 10, será exposto nessa seção os materiais e métodos para aplicação do acionamento de cargas em momentos específicos em instalações que possuem geração de energia on-grid com uso de inversor fotovoltaico.

Uma unidade consumidora residencial com geração fotovoltaica foi escolhida como objeto do estudo. Nesta UC, foi instalado um equipamento de medição de consumo de energia. Em um primeiro momento, faz-se a medição do perfil de consumo de energia dessa residência sem nenhum mecanismo de gestão ou controle das cargas. Uma vez levantado o perfil de consumo, identifica-se oportunidades de otimização do *self-consuming*, buscando deslocar cargas específicas para horários em que a geração fotovoltaica possa suprir o consumo das



mesmas. Com a implantação dessas técnicas de otimização, gestão e controle de cargas, são feitas novas medições para avaliar se houve de fato redução da energia fornecida pela concessionária. Um balanço da energia gerada e consumida é então apresentado, resultando na análise de viabilidade das técnicas propostas.

Figura 11 Diagrama de Bloco de passo a passo da pesquisa



### 3.1 MEDIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA

Para medir o consumo de energia da instalação, foi instalado um medidor bidirecional de energia modelo TS 65-3 do fabricante Fronius, mesmo que o inversor fotovoltaico Primo 8.2-1, já existente na instalação.

Figura 12 Medidor bidirecional de energia Fronius TS 65A-3



O Medidor bidirecional foi instalado antes do quadro geral de energia da residência, medindo assim as grandezas elétricas da instalação como um todo. Esse medidor é ligado por meio de cabo UTP as portas digitais disponibilizadas pelo inversor fotovoltaico, o qual é responsável pela coleta dos dados.

### 3.2 INVERSOR FOTOVOLTAICO

O inversor Fronius Primo 8.2-1 já existente na instalação é responsável por transformar a energia recebida pelos painéis fotovoltaicos, e injetar a energia gerada no quadro de energia geral da instalação, fornecendo assim energia para a unidade consumidora e exportando energia para a rede da concessionária, quando há excedente de geração em relação ao consumo da residência.

Esse inversor possui internamente um bloco de saídas e entradas digitais 12V. Ele permite a comunicação com outros dispositivos, possibilitando o recebimento de informações oriundas do medidor de energia (coleta de dados) e o envio de comandos para o acionamento de cargas como será mostrado a diante.

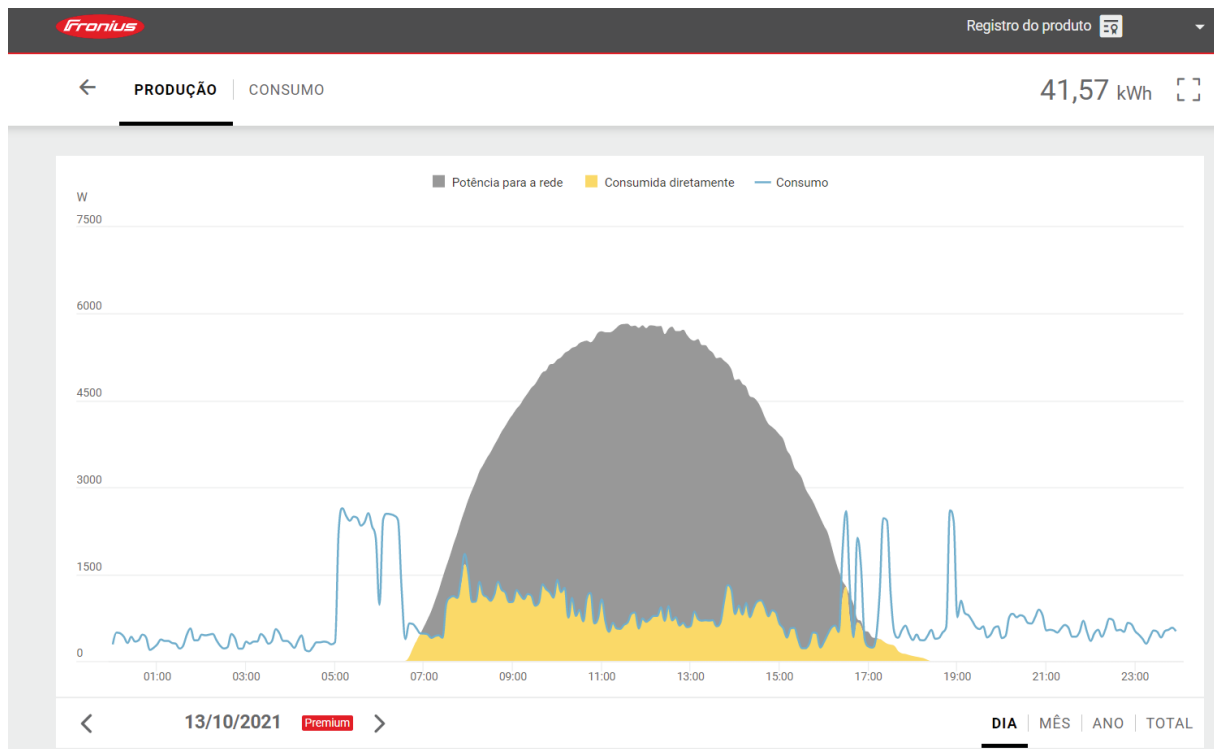
### 3.3 PLATAFORMA DE MONITORAMENTO

As informações de consumo coletadas pelo inversor, bem como as de geração de energia do mesmo são enviadas para uma plataforma online do próprio fabricante, denominada Solar.Web. Essa é responsável pela apresentação dos dados de geração e consumo de energia, apresentando gráficos e relatórios das grandezas medidas.

Além disso, relaciona os dados de geração e consumo da rede, disponibilizando informações relativas a parcela de energia consumida internamente e transferida a concessionária através da geração própria.

Na figura 12 é apresentado o gráfico de um dia de geração e consumo dessa residência. A linha azul, representa a potência ao longo do tempo, sendo sua área a energia consumida dentro desse dia. A área em amarela mostra toda energia consumida pela residência, a qual foi suprida pela geração fotovoltaica. A área em cinza representa a quantidade de energia exportada para a rede da concessionária.

Figura 13 Gráfico de geração e consumo de energia



Os gráficos e informações encontrados na plataforma, servem de base para analisar o perfil de consumo da instalação, identificando assim, quais são os momentos de maior consumo de energia, os horários de pico.

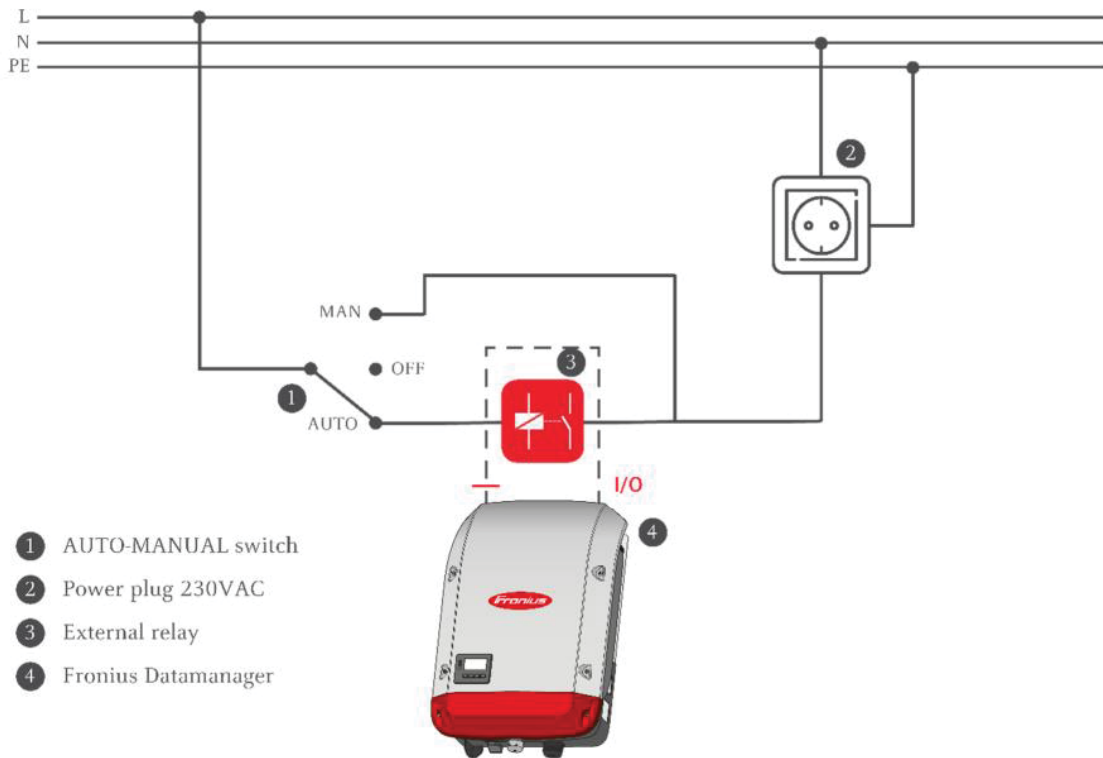
Quando conciliado as informações citadas anteriormente, com um levantamento de campo, visando identificar a carga e os horários de funcionamento de cada equipamento elétrico instalado na unidade consumidora, se torna possível identificar se existe algum equipamento elétrico que pode ter seu horário de funcionamento alterado.

Assim se possível, e não impactar no resultado que o equipamento escolhido deve desempenhar, estuda-se a viabilidade de implantar ações para seu funcionamento em horários em que existe exportação da energia gerada para a rede da concessionária.

### 3.4 RELÉ

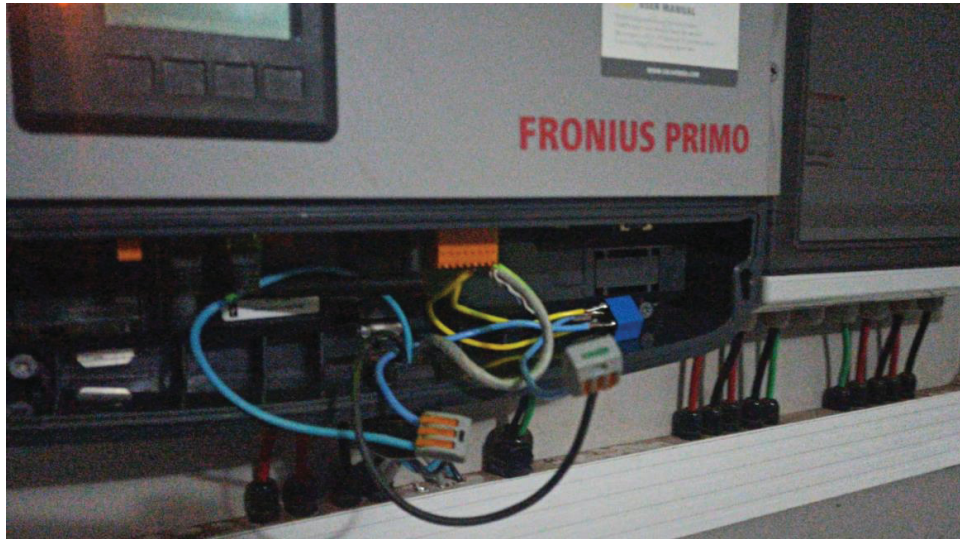
Um relé 12V, mesmo nível de tensão das portas digitais do inversor, é ligado em uma saída dessas, para que conforme feito a programação, o inversor envie um sinal para o relé acionando assim o equipamento elétrico escolhido.

Figura 14 Diagrama de instalação do relé



Como representado na Figura 13, o inversor fotovoltaico não precisa ser a única maneira de realizar o acionamento dessa carga, outros acionamentos automático ou manual podem ser utilizados em paralelo a esse.

Figura 15 Relé instalado e conectado



### 3.5 RESISTÊNCIA ELÉTRICA DE RESERVATÓRIO TÉRMICO

A resistência elétrica do reservatório de água quente da residência com potência de 2000W, foi identificado como um equipamento elétrico, o qual pode ter seu funcionamento combinado com o período em que existe a geração de energia, superior ao consumo da residência.

O funcionamento desse equipamento existente se consiste em um timer digital, que de acordo com sua programação horária envia um sinal a um contator e o mesmo alimenta a resistência.

Figura 16 Contator de alimentação da resistência



## 4 DESENVOLVIMENTO

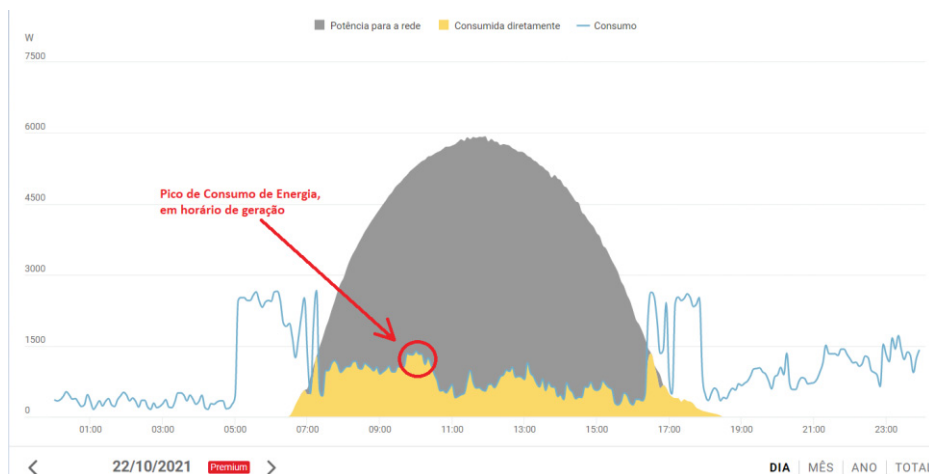
### 4.1 ANÁLISE DE CONSUMO DE ENERGIA E GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Observando os dados de geração fotovoltaica e os gráficos obtidos pela plataforma Solar.Web é possível perceber que a geração fotovoltaica não é uma fonte de energia com constância, pois seu funcionamento é em horário reduzido aproximadamente 10 horas por dia.

Além disso sua potência varia proporcionalmente a quantidade de luz irradiada no dia. Sendo assim, a presença de nuvens ou dias chuvosos fazem com que ocorra uma geração com nível de potência variável.

No modelo de conexão a rede on-grid, isso não se torna um problema, pois como o sistema é conectado a rede da concessionária, quando existe intermitência, ou seja, consumo de energia maior que a geração, ou falta de geração, a rede da concessionária supre a energia demandada.

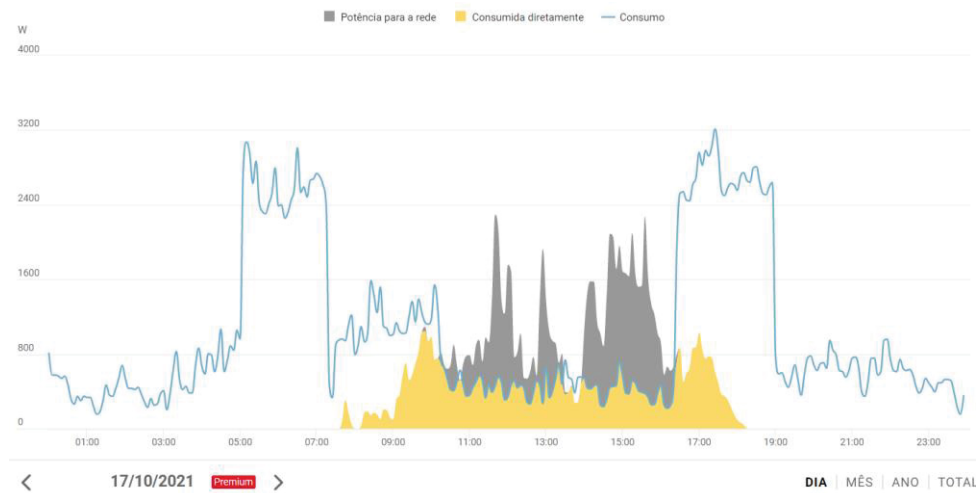
Figura 17 Geração e consumo de energia em dia ensolarado



É possível perceber pelo gráfico de geração e consumo de energia do dia 22/10/2021, apresentado pela *figura 16*, onde a curva de geração não sofre interrupções. Esse dia em questão foi bastante ensolarado, com ausência de nuvens sombreando a superfície dos módulos, o que explica tal perfil de geração. Nesse dia a geração de energia foi de 42,38 kWh, já o consumo 22,71 kWh. Como já visto pelo gráfico, foi exportado energia para a rede da concessionária. Como é percebido na

figura, o pico de consumo durante do horário de geração, é muito inferior a geração no momento.

Figura 18 Geração e consumo de energia em dia nublado



Na *figura 17* mostra a geração de energia em um dia nublado, dia 17/10/2021, e também o consumo de energia no mesmo dia. Nesse dia a produção do gerador solar foi de 8,87 kWh, já o consumo na instalação de 24,19 kWh. Comparado com o gráfico apresentado na *figura 16*, é possível perceber uma grande redução na geração de energia, e uma pequena diferença no consumo de energia (aproximadamente 6%), diferença bem comum e aceitável entre dias próximos.

Mesmo com uma geração que representa 20,92% em comparação a geração do dia 22/10, é possível perceber que ainda assim existiu a exportação de energia para a rede da concessionária em alguns momentos do dia.

Em levantamento de campo sobre as cargas instaladas na residência, foram identificados dois equipamentos, os quais poderiam ter seu horário de funcionamento alterado, sem que comprometa seu resultado final. Esses equipamentos são o motor de piscina e a resistência de aquecimento de reservatório de água.

O motor tem funcionamento diário consecutivo de 3 horas. Já a resistência de aquecimento de reservatório de água é acionada duas vezes ao dia, manhã e fim de tarde, com 2 horas de operação em cada ciclo. A tabela 1 apresenta detalhes dessas cargas.

Como o funcionamento do período entre 6:00 e 8:00 da manhã não pode ser alterado, esse funcionamento é descartado como hipótese de relocação do seu

horário de acionamento. Ficando apenas o horário de funcionamento da tarde, que sua única regra é ter encerramento até as 19:00.

Tabela 1 Cargas Controláveis

<b>Equipamento</b>	<b>Potência (W)</b>	<b>Funcionamento (h)</b>	<b>Consumo (kWh)</b>
<b>Motor de Piscina</b>	552	3	1,656
<b>Reservatório de aquecimento de água</b>	2000	2	4

O inversor fotovoltaico é capaz de controlar mais de uma carga, escalando ordem de prioridade para essas, entretanto para esse estudo será escolhido apenas uma. Tendo em vista que o consumo de energia diário do aquecedor de água é superior ao do motor, o aquecedor de água o equipamento a ter implantado controle de acionamento.

O reservatório de água quente utiliza de dois meios para esquentar a água, coletor solar, e resistência elétrica. A resistência elétrica funciona como complemento para que a água já esquentada pelo coletor atinja a temperatura escolhida.

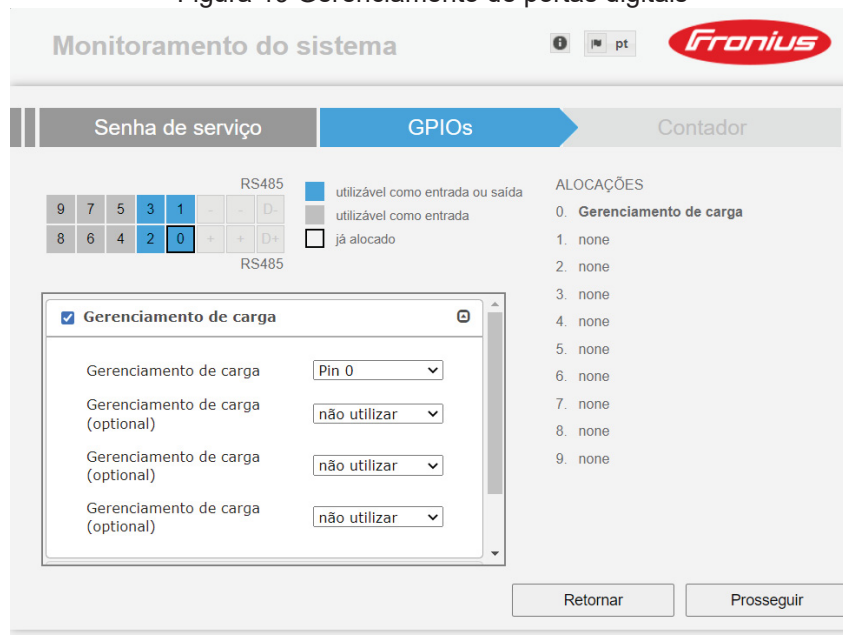
#### 4.2 CONTROLE DE ACIONAMENTO DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA

O gerenciamento das portas digitais do inversor não está disponível na plataforma Solar.Web, para acessar as configurações das mesmas, deve-se acessar diretamente o inversor fotovoltaico. O acesso é possível através de rede local WiFi ou por meio de rede LAN, no qual o inversor possui um endereço IP específico.

Com uma senha de acesso de operador do sistema, é possível acessar as portas digitais do inversor e então ativar conforme necessidade.



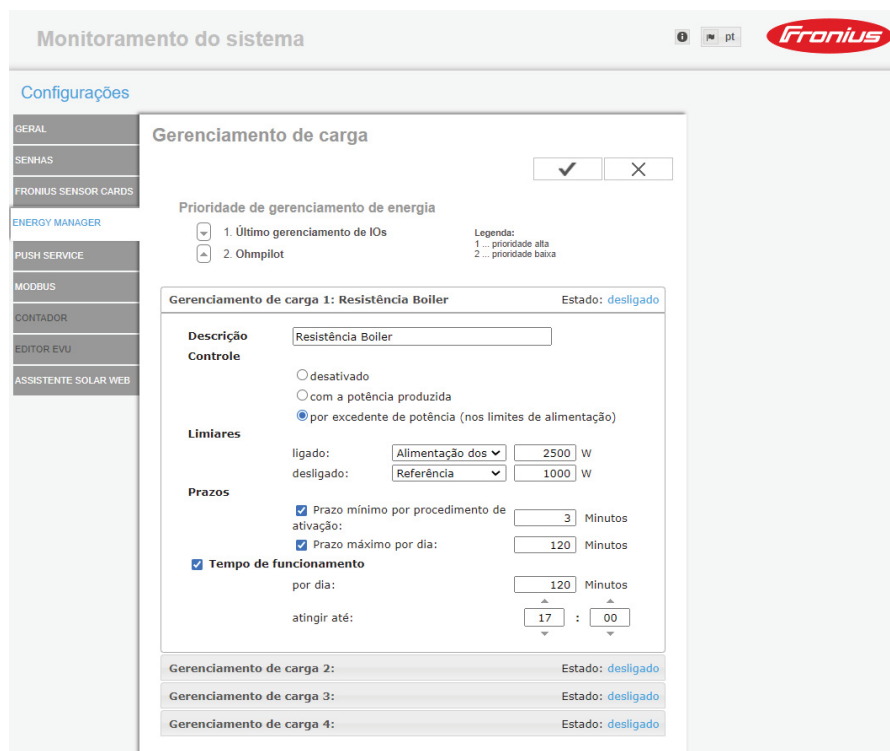
Figura 19 Gerenciamento de portas digitais



A figura 18 mostra a tela de configuração das portas digitais. Para a aplicação em questão foi ativado a porta 0. As demais portas podem ser utilizadas para o controle e acionamento de outros equipamentos elétricos.

Para personalizar e programar as regras de funcionamento da porta digital, foi customizada na aba “Load Management” (Figura 19).

Figura 20 Customização de funcionamento de porta digital



A resistência elétrica possui 2000W de potência. Após análise dos gráficos diários de geração e consumo de energia da residência em estudo, adotou-se como gatilho para início de funcionamento da resistência uma exportação de energia mínima de 2500W. O desligamento como regra deve se dar para quando a exportação de energia atingir 1000W.

Assim é garantido que grande parte do funcionamento da resistência ocorra, de uma maneira que seja necessário pouco complemento de energia da concessionária.

Para que a carga não desligue por picos curtos de potência ao longo do dia, como por exemplo uma partida de motor, foi adotado um período mínimo de 3 min para o funcionamento da resistência.

Conforme pode ser verificado nas figuras 16 e 17, o acionamento dessa carga ocorria às 16:30. Note que nesse horário os módulos fotovoltaicos instalados não estão em plena geração, uma vez que não estão mais sob efeito de forte nível de irradiação. Desta forma, a energia fornecida ao aquecedor de água vinha majoritariamente da concessionária de energia.

Visando garantir que o funcionamento do aquecedor de água contribua para o aumento do *self-consuming*, o acionamento do mesmo deve acontecer até as 17:00, pois por se tratar de uma carga necessária, o funcionamento da mesma deve ser garantido. Dessa forma, o resultado final de aquecimento da água é atingido, mesmo em dias que o sol não seja suficiente para atender a regra de exportação mínima de energia.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a programação do inversor para acionar a carga escolhida em momentos de geração, uma nova bateria de medições foi efetuada. Conforme já mencionado, a carga a ser comandada é o aquecedor de água. Essa carga é acionada duas vezes ao dia, manhã e fim de tarde. Foi escolhido o horário de fim de tarde para o acionamento controlado, tendo em vista que no período de aquecimento matutino (entre 5h00 e 7h00 da manhã), a geração fotovoltaica não está em operação. O inversor foi programado para acionar a carga quando a geração fotovoltaica exceder 2500W e com limite temporal estabelecido para às 17h00 (ou seja, o acionamento

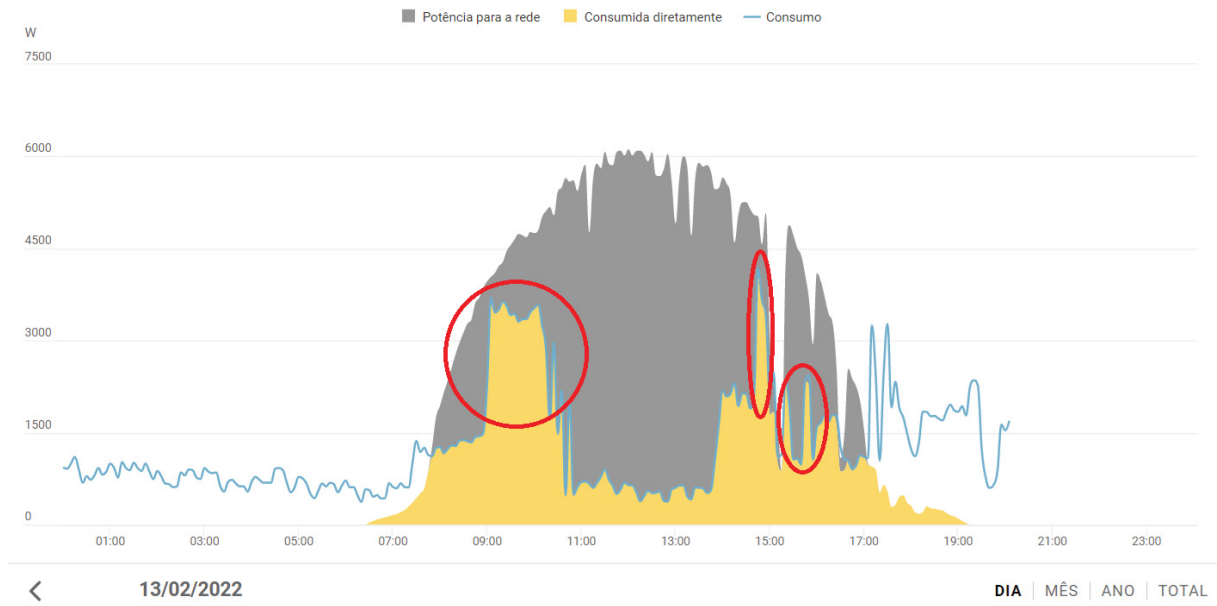
da resistência do aquecedor deve ocorrer antes desse horário para garantir o aquecimento da água). Para fins de segurança, o limiar de desligamento foi estabelecido para quando o consumo for igual ou superior à 1000W (nesse caso, a energia para aquecimento da água será fornecida pela concessionária).

Na figura 18 é de simples percepção que nos picos identificados de consumo de energia, momentos os quais a resistência de aquecimento foi acionada, não houve consumo de energia da concessionária.

Nesse caso toda energia consumida pelo aquecedor foi suprida integralmente pela geração fotovoltaica da residência. Nos pontos 2 e 3 identificados na figura 21 é percebido que no momento que a geração fotovoltaica diminui sua intensidade e não se cumpre a regra de funcionamento programada, a carga é desligada, e posteriormente quando a energia exportada chega a 2500W, novamente é acionada.

Devido a carga não ser de uso instantâneo, essa aplicação de acionamento mais dinâmica, permite que seja maximizado a coincidência de acionamento e exportação de energia.

Figura 21 Consumo de energia com acionamento de carga inteligente



O gráfico da figura 21 representa o consumo e geração de energia do dia 13/02/2022. Trata-se de um dia com poucas nuvens o que garantiu certa constância na geração fotovoltaica, com breves instantes de diminuição de geração. Em vermelho está destacado os momentos onde a resistência elétrica foi energizada, é

possível perceber que nestes momentos não foi necessário nenhum complemento de energia da concessionária para atender essa carga, resultando em uma economia de ICMS sobre a TUSD que não incidiu nesse caso em comparação a energia fornecida pela concessionária.

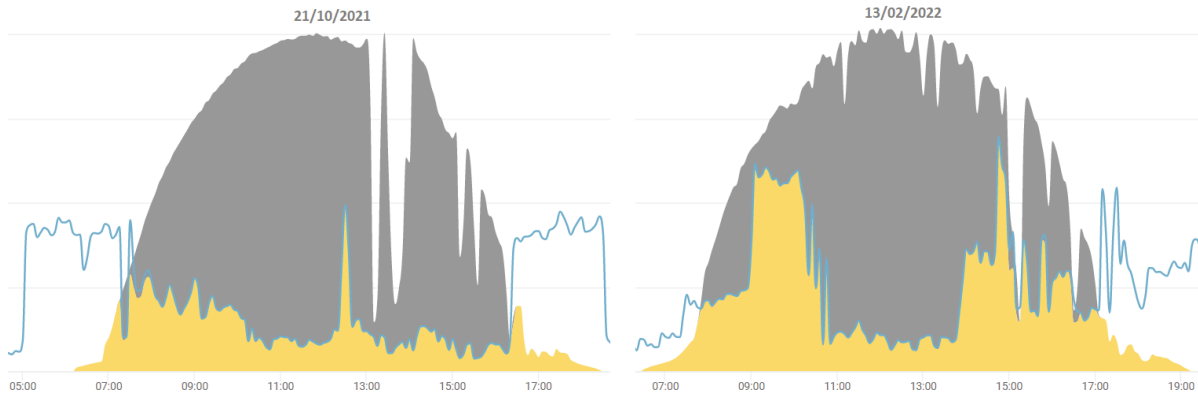
Em dias nublados ou chuvosos a geração fotovoltaica não será suficiente para atender integralmente a demanda da resistência elétrica, entretanto não se descarta o acionamento inteligente nesses dias. O consumo de energia na residência é pequeno durante os dias de segunda a sexta feira nos horários entre 10:00 a 12:00, e 13:30 as 18:00 conforme observado nos gráficos das figuras 16 e 17. Nota-se que a demanda nesses momentos são valores entre 350W a 800W. Isso faz que mesmo que quando o gerador fotovoltaico não está sob efeito de muita irradiação exista exportação de energia para a rede elétrica da concessionária. Dessa forma, torna-se ainda assim interessante a aplicação do acionamento em momento de exportação de energia, mesmo que não supra integralmente a demanda da carga junto com demais equipamentos da residência.

Se comparado essa ação com o funcionamento da resistência antes da aplicação de automação do seu acionamento para momentos de exportação de energia, será consumido menos energia da concessionária, a quantidade dependendo da geração de energia do dia em questão.

Analisando o gráfico da figura 21 o funcionamento da resistência elétrica foi plenamente suprido pela geração fotovoltaica, sendo assim se torna simples quantificar os encargos economizados se comparado a uma energia suprida pela concessionária.

A figura 22 apresenta o gráfico de geração e consumo de energia, sem a aplicação do controle de acionamento da resistência e com a aplicação do mesmo.

Figura 22 Comparação de consumo de energia com e sem aplicação de acionamento de carga inteligente



Ao analisar a demanda da resistência elétrica do dia 21/10/2021, a coincidência com horário de exportação de energia se deu nos primeiros 10 minutos de trabalho da carga, a exportação era apenas de 96W.

Considerando essa potência constante ao longo do tempo de 10 minutos, a quantidade de energia autoconsumida foi de 0,16 kWh, o que representa 4% da energia consumida pela resistência durante suas duas horas de trabalho. Como citado anteriormente no dia 13/02/2022 o total dos 4 kWh de consumo no período da tarde desse equipamento, foi suprido pelo sistema fotovoltaico.

Para quantificar o valor dos encargos, ou seja, o ICMS incidente sobre a TUSD, o qual tem o intuito de reduzir, foi utilizado o valor da TUSD com imposto apresentado na figura 4 da modalidade convencional do grupo B. Sendo assim o valor economizado é o 29% de ICMS imposto pelo estado do paran a no valor da TUSD, ou seja, o kWh consumido diretamente no momento de gera o   R\$ 0,1164 a menos que a energia fornecida pela concessionária e posteriormente abatida com os créditos de energia.

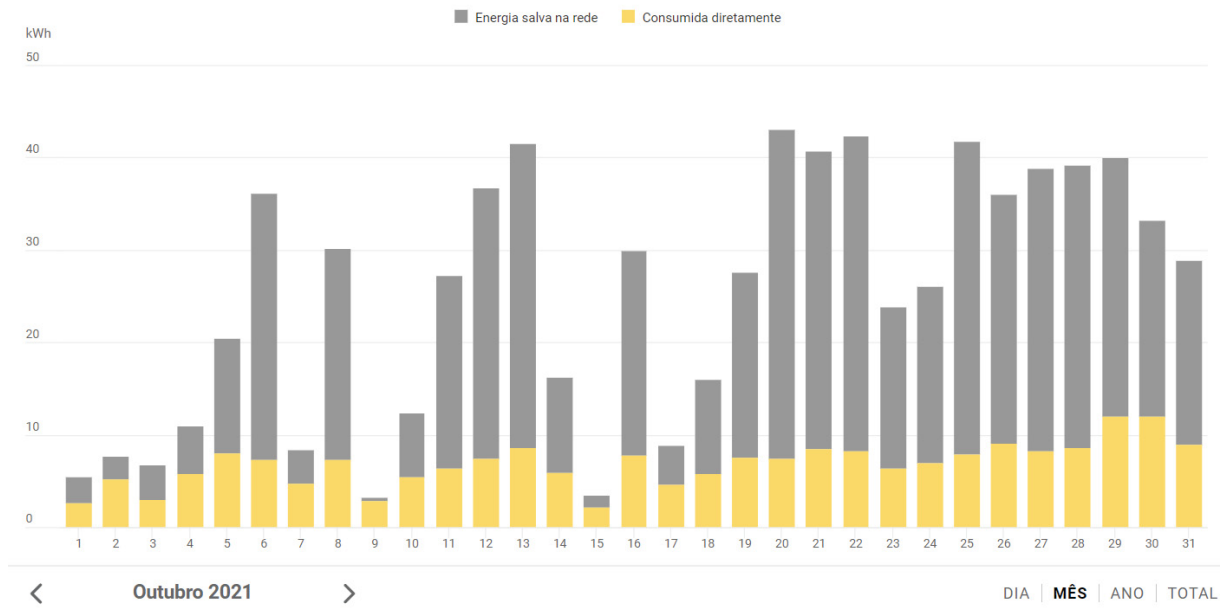
Tabela 2 Análise impacto dos encargos na energia consumida

Dia	Energia consumida resistência (kWh)	Energia consumida resistência na exporta�o (kWh)	Encargos R\$/kWh	Encargos Reduzidos com autoconsumo
21/10/2021	4	0,16	0,1164	R\$ 0,019
13/02/2022	4	4	0,1164	R\$ 0,466

A diferença de encargos reduzidos comparando o dia 21/10/2021 ao dia 13/02/2022, foi encontrado uma economia de aproximadamente 96%, grande diferença no proporcional, entretanto são pequenos valores.

Para uma aproximação mensal é analisado o balanço do mês de outubro do ano de 2021.

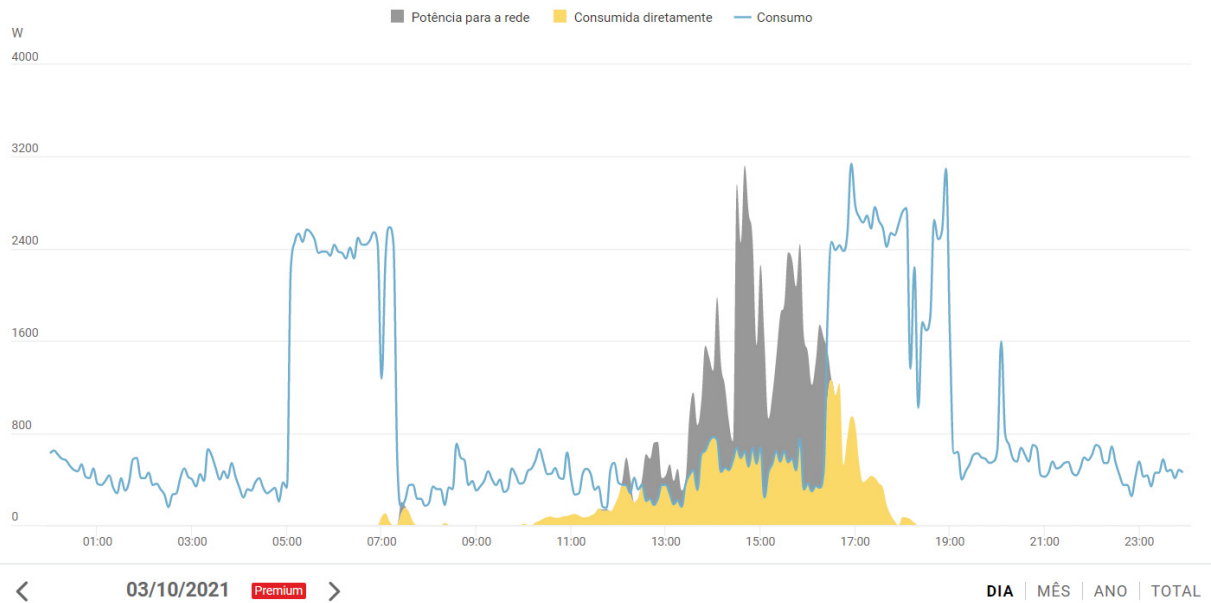
Figura 23 Balanço energético outubro 2021



Os dias com energia injetada acima de 20 kWh, apresentaram em seus gráficos diários, constância suficiente para suprir a demanda da residência mais o consumo de duas horas da resistência elétrica, ou seja, nesses dias os encargos por não absorver energia da rede para essa carga não seria incidente. Totalizando 20 dias.

Para aproximar e quantificar os demais dias foi tomado como referência o dia 03/10/2021, onde a exportação de energia para a rede foi pequena.

Figura 24 Balanço energético 03/10/2021



Analisando os gráficos, adotou-se o valor conservador de 25% de energia diretamente fornecida da geração fotovoltaica que atendeu a resistência elétrica.

Tabela 3 Impacto da redução de encargos mensais

Dias	Proporção de suficiência de consumo instantâneo	Encargos Reduzidos	Aumento <i>Self-consuming</i>
20	100%	R\$ 9,312	76,80
10	25%	R\$ 1,164	9,60
<b>TOTAL</b>		<b>R\$ 10,476</b>	<b>86,40</b>

Analisando o valor aproximado de economia com a aplicação do acionamento inteligente da resistência do aquecedor de água ao longo do mês, o valor se tornou mais significativo.

Figura 25 Fatura de energia outubro 2021

**COPEL**  
Copel Distribuição S.A.  
José Iridoro Bizetto, 158 bl.C - Mossunguá - Curitiba PR - CEP 81200-240  
CNPJ: 04.368.898/0001-06- IE 90.233.073-99 - IM 423.992-4

www.copel.com  
0800 51 00 116

**CIANORTE - PR**

Mês de referência: **Outubro/2021**  
Unidade Consumidora: [ ]  
Vencimento: **18/11/2021**  
VALOR A PAGAR: **R\$ 231,79**

FAT-01-20212131772421-25

Responsabilidade da Manutenção de Ilumina Pública: Município 156

**ALERTA: ECONOMIZE ENERGIA. BRASIL EM BANDEIRA DE ESCASSEZ HÍDRICA**

**Informações Técnicas** N° Medidor: MD 0371572704 - TRIFASICO

Reside/Residencial	Leitura Anterior	Leitura Atual	Medido	Constante de Multiplicação	Total Faturado	Consumo Médio Diário	Data de Emissão	Próxima Leitura Prevista
	24/09/2021 22200	27/10/2021 22718	33 dias 518 kWh	1	100 kWh	15,69 kWh	27/10/2021	25/11/2021

**Histórico de Consumo e Pagamento**

Mês	kWh	Dt.Pgto.	Valor
09/2021	513	18/10/2021	228,66
08/2021	442	16/09/2021	200,12
07/2021	501	16/08/2021	219,03
06/2021	620	19/07/2021	218,06
05/2021	455	14/06/2021	182,02
04/2021	417	18/05/2021	174,59
03/2021	417	14/04/2021	172,71
02/2021	396	18/03/2021	170,68
01/2021	468	18/02/2021	179,08
12/2020	474	18/01/2021	185,34
11/2020	371	09/12/2020	165,39
10/2020	497	16/11/2020	178,22

**Valores Faturados**

**NOTA FISCAL/CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA N° 220.496.184 - SÉRIE B**  
Emitida em 27/10/2021

Produto Descrição	Un.	Consumo	Valor Unitário	Valor Total	Base Cál.	Aliq. ICMS
ENERGIA ELET CONSUMO	kWh	100	0,438100	43,81	43,81	29,00%
ENERGIA ELET USO SISTEMA	kWh	100	0,409300	40,93	40,93	29,00%
ENERGIA TRIBUT DIFERENCIADA TE	kWh	418	0,288900	120,76	0,00	0,00%
ENERG TRIBUT DIFERENCIADA TUSD	kWh	418	0,380144	158,90	158,90	29,00%
ENERGIA CONS. B.VERMELHA P2	kWh			21,52	21,52	29,00%
ENERGIA TRIB DIF BAND VM P2	kWh			59,35	0,00	0,00%
CONT ILUMIN PUBLICA MUNICIPIO				79,45		
COMP CONS MICRO/MINI GERACAO	kWh	418		-292,93		

**Informações Suplementares**

Tarifas	Valor
ENERGIA ELET CONSUMO	0,558810

Base de Cálculo do ICMS: 265,16  
Valor ICMS: 76,89  
Valor Total da Nota Fiscal: 231,79

Considerando a quantidade de energia autoconsumida que foi aumentada com a aplicação da técnica de acionamento nos momentos de exportação de energia, como referência e premissas adotadas na tabela 3, a quantidade de 86,40 kWh no mês de outubro deixaria de ser fornecido pela concessionária.

Como visto na figura 25, a concessionária forneceu 418 kWh de energia para os momentos que não havia geração fotovoltaica ou que a mesma não tenha sido suficiente para atender a demanda no momento. Na conta de energia mostrada na figura 25 incide o valor de R\$ 79,45 referente a iluminação pública, descontando esse valor, é encontrado R\$ 152,34, valor que compete ao consumo de energia, e seus respectivos encargos. Nessa parcela, o impacto da redução de encargos seria de 6,87% no valor gasto com energia.

Essa redução de energia fornecida pela concessionária também impacta na cobrança de bandeiras tarifárias.

Além disso o impacto de aumento de autoconsumo seria de 20,66% conforme os dados apresentados na fatura de energia e calculados anteriormente.



Para a implantação do sistema de controle e acionamento foi necessário pouco investimento, o *smart meter*, relé, e cabos e acessórios de ligação.

Figura 26 Custo de equipamentos implantados

<b>Equipamento</b>	<b>Valor</b>
Smart Meter	R\$ 1.049,00
Relé	R\$ 8,50
Acessórios	R\$ 75,00
<b>Total</b>	<b>R\$ 1.132,50</b>

Considerando o mês de outubro como referência de economia, o payback dessa implementação é de 108 meses, nesse cálculo está considerado um mês de verão, no inverno o tempo de trabalho da resistência é de 3 a 4 horas por dia, e também as bandeiras tarifárias incidente variam de acordo com a situação hídrica em que se encontra o sistema elétrico brasileiro.

Tanto o aumento de tempo de funcionamento da carga, como a incidência de bandeiras tarifárias irão fazer com que o payback diminua a aumente a atratividade do sistema.

Para melhorar a atratividade e o retorno financeiro que essa implementação disponibiliza, é possível utilizar das outras três portas digitais que o inversor possui para acionar outros equipamentos.

Como visto nos gráficos, a área que representa a energia injetada na rede mesmo com a aplicação do acionamento da resistência, ainda é vasta e possibilita e disponibiliza energia para acionar outros equipamentos, como é o exemplo do motor mencionado na tabela 1.

## 6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O presente estudo avaliou a implementação de um sistema que complementa a usina de geração fotovoltaica já instalada em uma residência, adicionando a unidade geradora uma medição de consumo de energia da planta e com os resultados obtidos com esse a aplicação de acionamento de cargas elétricas em momentos que a unidade consumidora está exportando energia para a rede elétrica da concessionária.

Ao analisar as características da instalação de os equipamentos elétricos foi identificado duas cargas controláveis, as quais poderiam ser automatizadas, para terem que seu funcionamento aconteça em momentos que a planta fotovoltaica gere mais energia que a demanda instantânea da residência. Dentro dessa análise foi identificado que o equipamento que teria mais impacto seria a resistência elétrica do reservatório de aquecimento de água de 2000W. Como seu funcionamento matutino não pode ser alterado, seu funcionamento de 2 horas do período da tarde, seria remanejado visando maximizar o *self-consuming*.

Essa implementação resultou em um aumento no consumo instantâneo de 21,5%, e redução de 6,87% no que compete a energia elétrica na conta mensal.

O aumento do *self-consuming* além redução direta na conta de energia, traz benefícios como, menor susceptibilidade a bandeiras tarifárias e aumentos de energia. Maior segurança a mudanças regulatórias futuras.

Afim de melhorar o desempenho da solução implementada, para trabalhos futuros esse mesmo controle será implantado ao motor elétrico da piscina, e será realizado um estudo de viabilidade de implantação de bateria para suprir pontos de pico de demanda da instalação. Também pode-se imaginar o desenvolvimento de um controlador específico para o controle de tais cargas, reduzindo o custo de implementação do sistema de controle e acionamento.

## REFERÊNCIAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, disponível em: [www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf](http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf). Acesso em 30/05/2021

COPEL. Disponível em <https://www.copel.com/hpcweb/copel-distribuicao/taxas-tarifas/>. Acesso em 30/05/2021

CONFAZ. Disponível em [https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/2018/CV042\\_18](https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/2018/CV042_18). Acesso em 24/05/2021

WÍDEN J. Improved photovoltaic self-consumption with appliance scheduling in 200 single-family buildings, 2014

THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION - DIRECTIVE (EU) 2018/2001 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 11 December 2018

Z. Wu, X. Zhang, J. Brandt, S. Zhou and J. LI, "Three Control Approaches for Optimized Energy Flow With Home Energy Management System," in *IEEE Power and Energy Technology Systems Journal* 2015.

PINHO H. T., GALDINO M. A. – Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, GTES – 2014.

Amabile L., Bresch-Pietri D., Hajje G.E, Labbe S., Petit N. - An optimization methodology for self-consumption of residential photovoltaic energy, 2020.

Murgescu I., El-Leathey L.A., Chihaiia R.A, Cîrciumaru G. - Efficient energy use and storage practices within residential facilities for compliance with the nZEB criteria, 2019.