

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

HELENA LEAL ROKEMBACH
PRISCILLA REGINA PAGNONCELLI
RODRIGO ZAGO

**FERRAMENTA DE ANÁLISE TÉCNICO/ECONÔMICA
PARA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM
CONSUMIDORES RESIDENCIAIS DE ACORDO
COM O MODELO TARIFÁRIO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2018

HELENA LEAL ROKEMBACH
PRISCILLA REGINA PAGNONCELLI
RODRIGO ZAGO

**FERRAMENTA DE ANÁLISE TÉCNICO/ECONÔMICA
PARA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM
CONSUMIDORES RESIDENCIAIS DE ACORDO
COM O MODELO TARIFÁRIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Dr. Gerson Máximo Tiepolo

CURITIBA
2018

Helena Leal Rockembach
Priscilla Regina Pagnoncelli
Rodrigo Zago

Ferramenta de análise técnico/econômica para implantação de sistemas fotovoltaicos em consumidores residenciais de acordo com o modelo tarifário

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 04 de dezembro de 2018.

Prof. Antonio Carlos Pinho, Dr.
Coordenador de Curso
Engenharia Elétrica

Profa. Annemarien G. Castagna, Mestre
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso
de Engenharia Elétrica do DAELT

ORIENTAÇÃO

Dr. Gerson Máximo Tiepolo
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Dr. Gerson Máximo Tiepolo
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Roberto Candido
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Jorge Assade Leludak
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica.

AGRADECIMENTOS

Acreditamos que o motivo principal de termos atingido os objetivos propostos foi a maneira como trabalhamos ao longo deste período. Além da dedicação, que é essencial, o trabalho em grupo funcionou. Por isso, agradecemos uns aos outros pela paciência, compreensão e ajuda. Cada um, com seu conhecimento e suas limitações, conseguiu dar sua melhor contribuição.

Agradecemos também ao nosso orientador, Gerson Maximo Tiepolo, pelas orientações ao longo do trabalho e pela valiosa contribuição de seus estudos na área de energia solar no Estado do Paraná.

Sem o apoio dos que amamos, nada teria sido possível. Assim, o agradecimento também é destinado aos nossos familiares, que acompanharam nossa caminhada ao longo do curso e nossa dedicação durante este período de TCC e indiretamente, participaram deste processo. Pela paciência nos momentos de stress, compreensão dos sábados de trabalho, amor e parceria, agradecemos aos namorados e namorada, Geraldo, Henrique e Nathalia.

RESUMO

PAGNONCELLI, Priscilla Regina; ROKEMBACH, Helena Leal; ZAGO, Rodrigo. Ferramenta de análise técnico/econômica para implantação de sistemas fotovoltaicos em consumidores residenciais de acordo com o modelo tarifário. 70 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

A criação de uma opção de tarifa branca pela Agência Nacional de Energia Elétrica, afim de incentivar o consumo de energia elétrica fora de horários de ponta, gera dúvidas à boa parte dos consumidores residenciais que, antes do período de 2018, estavam limitados à tarifa convencional de energia de suas respectivas concessionárias. Essa problemática, aliada ao fato do crescimento recente de implantação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede por consumidores residenciais, deu origem ao presente trabalho, no qual por meio de uma ferramenta on-line, os usuários podem realizar uma simulação do consumo elétrico em sua residência, de acordo com o horário de uso de cada equipamento. O resultado da simulação traz um comparativo anual de consumo entre tarifa convencional e branca. Assim, o usuário pode realizar uma simulação de custos para implementação de um sistema fotovoltaico conetado à rede de acordo com valores adquiridos na simulação tarifária anterior, auxiliando na tomada de decisão para instalação do mesmo e migração de sua tarifa. Todos esses cálculos foram desenvolvidos a partir de estudos prévios relacionados à geração fotovoltaica e comportamento de consumo elétrico residencial, de modo a auxiliar e informar o consumidor comum das possibilidades ligadas aos gastos com energia elétrica.

Palavras-chave: Consumo de energia elétrica, sistemas tarifários, energia fotovoltaica, simulador de consumo.

ABSTRACT

PAGNONCELLI, Priscilla Regina; ROKEMBACH, Helena Leal; ZAGO, Rodrigo. Technical/economic analysis tool for implantation of photovoltaic systems in residential consumers according to the tariff model. 70 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

The creation of a white tariff option by the National Electric Energy Agency, in order to encourage the consumption of electric energy outside of peak times, raises doubts to the majority of the residential consumers who, before the period of 2018, were limited to the conventional tariff of their respective power distribution company. This problem, in addition with the recent growth of the adoption of photovoltaic systems connected to the grid by residential consumers has given rise to the present work, which through an online tool users can create a simulation of the electric consumption in their houses, according to the hours of use of each equipment. The result of the simulation brings an annual comparison of consumption between conventional and white tariffs. Hence, the user can carry out a simulation of costs for the implementation of a photovoltaic system connected to the network according to values acquired in the previous tariff simulation, helping in the decision making for its installation and migration of its tariff. All these calculations were developed from previous studies related to photovoltaic generation and residential electric consumption behavior in order to help and inform the ordinary consumer about the possibilities linked to electric energy expenditures.

Keywords: Electric energy consumption, tariff systems, photovoltaic energy, consumption simulator.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Balanço Energético Nacional de 2017 e 2016.	13
Figura 2 – Caminho genérico da energia elétrica até o consumidor.	20
Figura 3 – Mapa do Sistema Interligado Nacional do horizonte 2017.	21
Figura 4 – Composição da Tarifa de Energia.	23
Figura 5 – Comparativo entre Tarifa Branca e Convencional.	29
Figura 6 – Períodos horários para aplicação da tarifa branca estabelecidos pela COPEL.	30
Figura 7 – Relação do consumo de energia per capita e PIB.	33
Figura 8 – Consumo de Energia no Setor Residencial.	33
Figura 9 – Curva de Carga para a Região Sul.	35
Figura 10 – Curva de Carga nacional.	35
Figura 11 – Curva de Carga simulada.	36
Figura 12 – Arranjo do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede.	38
Figura 13 – Mapa de produtividade e irradiação para o estado do Paraná e Europa	40
Figura 14 – Fluxograma da ferramenta para cálculo do consumo.	46
Figura 15 – Custo dos Sistemas Fotovoltaicos	48
Figura 16 – Fluxograma da Ferramenta para Cálculo do Sistema Fotovoltaico . .	52
Figura 17 – Tela Inicial da Ferramenta.	53
Figura 18 – Informações sobre adesão à tarifa branca.	54
Figura 19 – Informações sobre funcionamento.	54
Figura 20 – Informações sobre análise econômica e recursos oferecidos.	55
Figura 21 – Página do simulador de consumo	56
Figura 22 – Layout do Simulador	57
Figura 23 – Resultados comparativos do simulador.	58
Figura 24 – Fatura de energia simulada e resultado de possível investimento. . .	59
Figura 25 – Dados para a simulação do sistema fotovoltaico.	59
Figura 26 – Viabilidade de instalação do SFVCR.	60
Figura 27 – Estimativa de geração mensal de energia elétrica do SFVCR.	61
Figura 28 – Texto complementar dos resultados de simulação.	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Sistemas de Bandeiras Tarifárias: Condições e Custos.	24
Tabela 2 – Tarifas da COPEL sem incidência de tributos.	31
Tabela 3 – Consumo por região.	32
Tabela 4 – Consumo residencial entre os anos de 2004 e 2017.	34
Tabela 5 – Estimativa de valor médio para instalação de SFVCR's nas capitais da região sul.	42
Tabela 6 – Lista de cargas sugeridas para o simulador.	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACL	Ambiente de Contratação Livre
ACR	Ambiente de Contratação Regulada
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BIG	Banco de informações de geração
BIRD	Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia
CIP	Contribuição para Custeio do Serviço de Iluminação Pública
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
COSERN	Companhia de Energia Elétrica do estado do Rio Grande do Norte
CSS	Cascading Style Sheets
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ETC	Especificação Técnica
HTML	HyperText Markup Language
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMS	Imposto sobre operações relativas à Circulação de Mercadorias e sobre prestações de Serviços de transporte interestadual e intermunicipal e de comunicação
IDH	Índice Desenvolvimento Humano
IEA	International Energy Agency
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCA	Índice de Preços ao Consumidor Ampliado
LCD	Liquid Crystal Display
MW	Megawatt

NBR	Norma Brasileira
NTC	Norma Técnica Copel
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PDF	Portable Document Format
PEE	Programa de Eficiência Energética para o Brasil
PIB	Produto Interno Bruto
PIS	Programa de Integração Social
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
REN	Resolução Normativa
SIN	Sistema Interligado Nacional
SPA	Single Page Application
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
TUSD	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
TUST	Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão
UNESP	Universidade Estadual Paulista
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	TEMA	14
1.1.1	Delimitação do Tema	14
1.2	PROBLEMAS E PREMISSAS	15
1.3	OBJETIVOS	16
1.3.1	Objetivo Geral	16
1.3.2	Objetivos Específicos	16
1.4	JUSTIFICATIVA	16
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	17
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1	SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO	20
2.2	ESTRUTURA TARIFÁRIA	22
2.2.1	Composição da Tarifa	23
2.2.2	Grupos de Consumidores	25
2.2.3	Modalidades Tarifárias	26
2.2.4	Tarifa Convencional	27
2.2.5	Tarifa Branca	27
2.3	CONSUMO DE ENERGIA RESIDENCIAL	32
2.4	GERENCIAMENTO POR RESPOSTA DA DEMANDA	36
2.5	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE	37
2.5.1	Geração Distribuída	39
2.5.2	Panorama de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede	39
2.5.3	Viabilidade Econômica	41
3	PREMISSAS E CÁLCULOS PARA DESENVOLVIMENTO DA PLATAFORMA	43
3.1	DESCRIÇÃO DA FERRAMENTA UTILIZADA	43
3.1.1	Análise Tarifária	44
3.1.1.1	Premissas adotadas	44
3.1.1.2	Lista de cargas	44
3.1.1.3	Estrutura lógica utilizada	45
3.1.2	Desenvolvimento do Simulador Fotovoltaico	46
3.1.2.1	Premissas adotadas	46
3.1.2.2	Taxa de Desempenho e Produtividade	47

3.1.2.3	Vida útil dos equipamentos e custo de manutenção	47
3.1.2.4	Preço dos Sistemas Fotovoltaicos	47
3.1.2.5	Custo de Disponibilidade do Sistema Elétrico	48
3.1.2.6	Faturamento e Reajustes Tarifários	49
3.1.2.7	Análise de Retorno de Investimento	50
3.1.2.8	Estrutura da lógica utilizada	50
4	RESULTADOS	53
5	CONCLUSÃO	62
	REFERÊNCIAS	64
	APÊNDICES	67

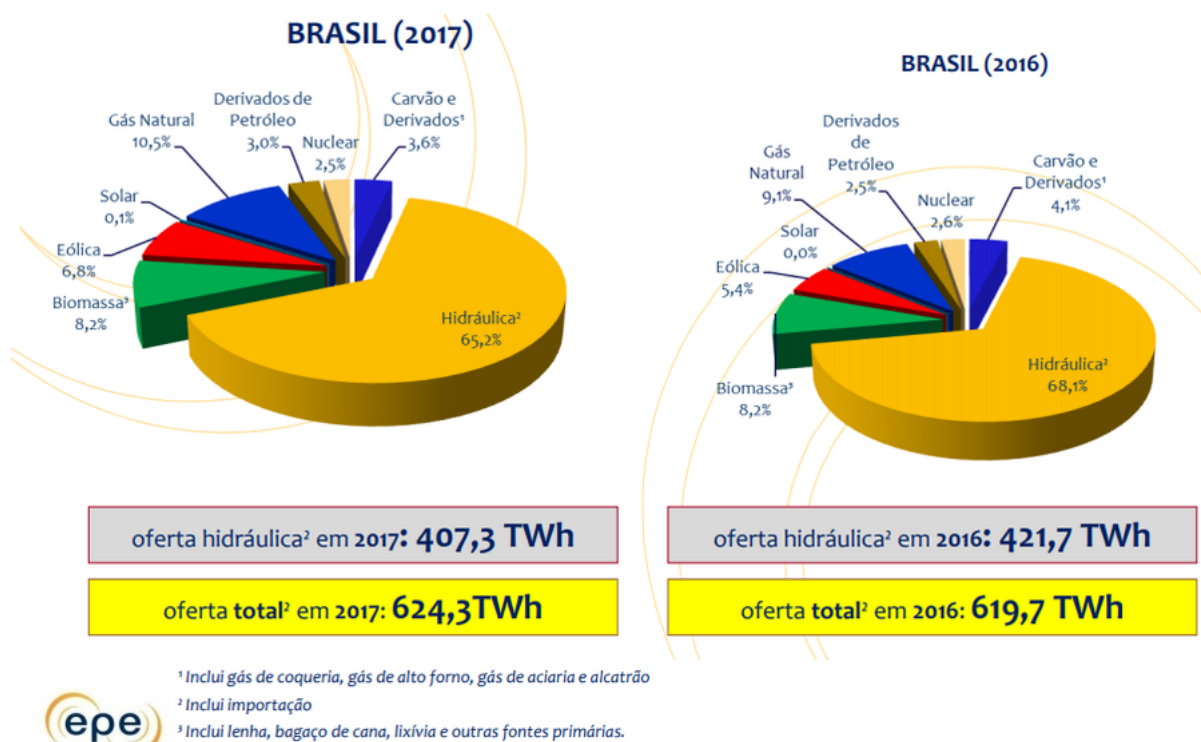
1 INTRODUÇÃO

Com os avanços tecnológicos ocorridos na sociedade praticamente todas as atividades cotidianas requerem o uso da energia elétrica, tornando-a fundamental e indispensável para vida humana. O uso da energia está intrinsecamente relacionado à qualidade de vida e o acesso à energia é sinônimo de desenvolvimento e direitos humanos. Tanto índices de desenvolvimento humano como de desenvolvimento econômico, possuem uma relação direta com o consumo de energia per capita, ou seja, quanto menor é a disponibilidade de energia, menos desenvolvida é a nação e piores são seus indicadores (GOLDEMBERG; LUCON, 2008).

Segundo dados do Banco de Informações de Geração, a matriz elétrica brasileira tem como predomínio a geração por meio de fontes renováveis, com destaque para a hidráulica, fonte mais representativa (ANEEL, 2018). Outras fontes renováveis não hídricas que estão crescendo, como eólicas e solares, também fazem parte dessa matriz.

Como pode-se notar na Figura 1, a geração de energia por fontes renováveis diminuiu sua representatividade na matriz elétrica brasileira, devido a uma retração na geração de energia hidráulica, resultado a um período hidrológico desfavorável em 2017. Contudo, cabe-se destacar o aumento de geração eólica e solar. As energias renováveis em 2017 representaram 80,4% da energia elétrica gerada no país (Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2018).

Figura 1 – Balanço Energético Nacional de 2017 e 2016.



Fonte: EPE (2018)

No âmbito do Brasil, o estado do Paraná é um dos grandes geradores de energia elétrica por meio das hidrelétricas, em razão da grande bacia hidrográfica existente no estado. No entanto, à (exemplo) do Brasil, a expansão da capacidade instalada dessa fonte na matriz elétrica tem diminuído seu ritmo de crescimento, tanto pela dificuldade de exploração do potencial ainda não utilizado quanto por pressões sociais e ambientais (TIEPOLO, 2015).

Quando as condições hidrológicas são desfavoráveis nas usinas hidrelétricas, as usinas termelétricas são acionadas de modo a complementar a demanda de energia, o que acarreta também em um aumento no custo de geração do sistema elétrico brasileiro. Além disso, a questão energética é hoje um dos maiores desafios da sociedade para sustentabilidade. E é neste contexto que se insere o uso de fontes renováveis para geração de energia, como hidráulica, eólica, solar fotovoltaica, biomassa, entre outras. Além da sustentabilidade, o investimento em energias renováveis é também uma oportunidade de renda e emprego, movimentação da economia e menor dependência dos combustíveis fósseis e de seu mercado volátil.

Em 2015, os brasileiros ficaram cientes dos custos gerados pela geração termelétrica na conta de energia. Isto porque, o sistema de bandeiras tarifárias entrou em vigor, sinalizando por meio de três bandeiras, a expressividade da geração por termelétricas e o seu custo em reais referente ao mês utilizado (ANEEL, 2015a).

Com o objetivo de ampliar os direitos do consumidor e possibilitar uma economia na conta de energia, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em 2016, aprovou a tarifa branca, na qual o consumidor pagará diferentes valores em função da hora e do dia da semana de acordo com seu consumo de energia. Diferente da tarifa atual, a convencional, que é cobrado um valor único independente do dia e hora em que é consumida, a qual entrou em vigor em janeiro de 2018 (ANEEL, 2017).

Além disto, outras ações importantes aconteceram no cenário nacional. Através da Resolução Normativa n.º 482 de 2012 da ANEEL, a geração distribuída foi integrada ao Sistema Elétrico Brasileiro. Esta geração, em pequena escala e através de fontes de energia renováveis, ocorre próximo das fontes de consumo e possibilita que o consumidor gere a energia que irá consumir.

De acordo com o Balanço Energético Nacional a capacidade instalada disponível da geração distribuída aumentou em 56 MW no ano de 2016, com relação a 2015. A energia solar fotovoltaica representa em torno de 78,5% da geração distribuída existente hoje no país (Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2018).

Aliado ao pensamento de economia para o consumidor, a aplicação de geração distribuída por sistemas fotovoltaicos é uma opção, principalmente no estado do Paraná. Segundo o Mapa Fotovoltaico do Estado do Paraná, a média anual de irradiação no estado é maior que a média anual da Alemanha, um dos países que possuem a maior capacidade instalada em sistemas fotovoltaicos (TIEPOLO, 2015).

1.1 TEMA

Elaboração de uma plataforma web como ferramenta de análise técnico/econômica para implantação de sistemas fotovoltaicos em consumidores residenciais de acordo com o modelo tarifário adotado (tarifa branca ou convencional).

1.1.1 Delimitação do Tema

As condições hidrológicas desfavoráveis constantemente observadas nos últimos anos geraram um aumento no custo de geração, que foi repassado aos consumidores nas faturas de energia através do mecanismo das bandeiras tarifárias. Além disso, fatores políticos também afetaram significativamente o valor das tarifas, como foi o caso da Medida Provisória 579 de 2012, que gerou um rombo bilionário para o setor elétrico, que foi em grande parte repassado ao consumidor.

Ao ver os custos com energia elétrica comprometendo uma parcela maior de seu orçamento, o consumidor, em geral passou a buscar alternativas para reduzir esse custo e adquirir independência de fatores que fogem ao seu controle, como decisões

governamentais e condições climáticas. Assim, a possibilidade da geração distribuída surge como uma complementação bastante atrativa, ao possibilitar uma economia na fatura de energia, que amortiza o investimento realizado na tecnologia de geração ao longo dos anos.

Dentro deste contexto, pretende-se com este trabalho, desenvolver uma ferramenta para realizar essa análise de viabilidade da geração distribuída dentro de um cenário com diferentes modalidades tarifárias disponíveis.

Deste modo, delimitou-se os estudos especificamente para a geração solar fotovoltaica conectada à rede como forma de geração distribuída exclusivamente para consumidores do grupo B residenciais (apenas o subgrupo B1 convencional, excluindo-se o subgrupo B1 de baixa renda).

1.2 PROBLEMAS E PREMISAS

As tarifas de energia elétrica estão cada vez mais caras, principalmente após a intensificação da geração termelétrica devido às condições hidrológicas desfavoráveis por falta de chuvas em meados de 2014 e por consequência disso, a entrada das bandeiras tarifárias, onde o custo dessa geração é repassado ao consumidor. Entretanto, ao longo desse período houve a possibilidade de o consumidor gerar parte da energia consumida através da geração distribuída.

O modelo tarifário utilizado no Brasil sofreu alterações a partir de 2018 para os consumidores residenciais do grupo B com a implementação da tarifa branca (ANEEL, 2017). O consumidor pertencente ao grupo B passa a ter a opção de escolher entre as duas modalidades tarifárias conforme o seu perfil de consumo: modalidade tarifária Convencional ou Tarifa Branca. No entanto, ainda não se tem conhecimento se a migração da atual tarifa convencional do grupo B para a tarifa branca será benéfica ou não para o consumidor em termos de custo na fatura de energia. Assim como não se sabe se a implantação de geração distribuída através de sistemas fotovoltaicos pode beneficiar a adesão a tarifa branca ou não.

Deste modo, parte-se da premissa que a criação de uma ferramenta que permita analisar todos esses aspectos possa ser um instrumento relevante de tomada de decisão para o consumidor residencial proporcionando-o uma visão mais clara e precisa de qual ação ele deve tomar, principalmente se esta ferramenta estiver disponível na web, através de uma aplicação didática e intuitiva.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma ferramenta de análise técnico/econômica para implantação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFVCR), no Estado do Paraná, para consumidores do grupo B, subgrupo B1¹, considerando nesta análise as modalidades tarifárias disponíveis.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar, através de revisão bibliográfica, um levantamento das modalidades tarifárias disponíveis para os consumidores que são objeto deste estudo, bem como das características de consumo desse grupo e, por fim, dos aspectos regulatórios, técnicos e econômicos relacionados à instalação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede;
- Traçar estimativas de custo com energia elétrica, considerando as modalidades tarifárias disponíveis;
- Desenvolver um processo de avaliação integrada de viabilidade técnica e econômica de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede a partir de uma análise dos fatores determinantes relacionados a este tipo de geração de energia;
- Desenvolver uma ferramenta online, com layout e linguagem adequados ao público leigo, que possibilite a análise da modalidade tarifária mais vantajosa ao perfil de consumo e atestar viabilidade técnica/econômica da instalação de sistemas fotovoltaicos dentro deste contexto, para os consumidores residenciais estudados.

1.4 JUSTIFICATIVA

Durante décadas o papel do consumidor residencial de energia elétrica foi exclusivamente passivo, se limitando a receber a energia em sua residência e efetuar o pagamento da fatura, sem necessariamente conhecer detalhes sobre esse processo. Com a possibilidade de implementação da geração distribuída esse papel passa a ser questionado e a falta de informação a respeito de todo processo de geração, transmissão e distribuição de energia acabam se tornando uma barreira para a difusão desta tecnologia no país. Não só a complexidade do processo de geração fotovoltaica para um público leigo, mas também toda a questão da integração dessa geração com

¹ Desconsiderando os consumidores do subgrupo B1 que se enquadram no perfil da subclasse de baixa renda.

o sistema de distribuição são questões bastante complexas que acabam gerando um certo receio em realizar um investimento onde os benefícios surgem após um aporte financeiro significativo.

Algumas políticas públicas foram implantadas para inserir o consumidor na realidade do sistema elétrico brasileiro, como o modelo das bandeiras tarifárias que sinaliza através de acréscimos na tarifa de energia a situação dos reservatórios das usinas hidrelétricas do sistema interligado nacional. Situações hidrológicas desfavoráveis acarretam na necessidade de aumento da geração termelétrica, elevando o custo marginal da operação do sistema. Nesses momentos, são acionadas as bandeiras sinalizando ao consumidor as condições do sistema de geração.

Outra política em implantação é a aplicação de uma nova modalidade tarifária para os consumidores de baixa tensão, a tarifa branca. Essa tarifação também é um mecanismo de sinalização ao consumidor, como uma resposta em função da demanda de energia, estabelecendo tarifas mais elevadas nos momentos em que se exige mais do sistema elétrico, quando solicita-se do sistema mais geração e conseqüentemente capacidade de transmissão e distribuição para atender com qualidade de fornecimento a demanda nesses horários. Deste modo, a tarifa branca diferencia o custo da energia em três faixas de horário (ponta, intermediário e fora ponta), elevando o custo nos momentos em que há uma maior demanda no sistema de geração.

Dado este contexto, esse trabalho se justifica no propósito de levar ao consumidor de baixa tensão uma ferramenta de decisão moderna, gratuita e de fácil acesso e disponibilidade. Além disso, a linguagem empregada visa elucidar aspectos de análise técnica e financeira de maneira didática para indivíduos leigos no assunto. Com a plataforma web de simulação o consumidor poderá estimar para sua curva de consumo, qual a melhor modalidade tarifária, a viabilidade da instalação de um sistema fotovoltaico em sua residência e ainda contemplar possibilidades de mudança de hábitos de consumo a fim de obter uma economia em sua fatura de energia. A plataforma tem o objetivo de consolidar diversas informações que se encontravam dispersas e não podiam, assim, servir como base de decisão. Unificando a análise técnica, financeira e ainda as modalidades tarifárias disponíveis, a ferramenta trará ao consumidor a possibilidade de uma análise mais precisa e adequada. Desta maneira, ela acaba sendo útil também como um objeto de consulta e comparação ao consumidor que recebe propostas comerciais para implantação de SFVCR.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O método utilizado para que sejam atingidos os objetivos do trabalho é o exploratório, sendo delineado através de pesquisa bibliográfica e levantamento e consolidação

de dados. A pesquisa será de natureza quantitativa e qualitativa. A investigação será desenvolvida em três fases:

- Fase I: Documentação indireta através do levantamento bibliográfico. Este meio será utilizado para a construção do referencial teórico-conceitual relacionado aos objetivos do trabalho. A pesquisa bibliográfica visa uma melhor compreensão do problema e tem também a finalidade de fornecer uma base de dados para construção da ferramenta de análise, objetivo principal deste trabalho. Para isso, serão levantadas informações relacionadas às modalidades tarifárias existentes, aspectos analisados para avaliação viabilidade técnica e econômica de SFVCR e levantamento de perfis de consumo e carga característicos dos consumidores residenciais.
- Fase II: Consolidação das informações obtidas para o desenvolvimento de uma ferramenta de análise de modalidade tarifária e viabilidade técnica e econômica de SFVCR. Nesta fase será desenvolvida a metodologia de análise em si, com base nos dados obtidos no levantamento indireto.
- Fase III: Por fim, a ferramenta criada será analisada e avaliada, para determinar assim, se o problema de pesquisa foi elucidado e os objetivos atingidos.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso segue a seguinte estrutura:

Capítulo 1: Introdução - Apresenta o tema proposto, os problemas e premissas relacionados ao tema, os objetivos, a justificativa para realização deste trabalho e as metodologias adotadas para elaboração.

Capítulo 2: Revisão bibliográfica, com um levantamento das modalidades tarifárias disponíveis para os consumidores residenciais alvo do estudo, bem como das características de consumo desse grupo. Aborda também uma revisão dos aspectos regulatórios, técnicos e econômicos relacionados à instalação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede.

Capítulo 3: Considerando as modalidades tarifárias disponíveis e a resolução tarifária vigente, este capítulo desenha toda a estrutura da ferramenta web utilizada para as simulações.

Também, na construção da lógica para a simulação fotovoltaica, se faz necessária uma análise dos fatores determinantes relacionados à viabilidade técnica e econômica de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede, apresentando uma metodologia de avaliação integrada de aspectos relevantes à este tipo de geração de energia.

Capítulo 4: Assim, segue-se para a apresentação da ferramenta online de análise, a partir do perfil de consumo de energia elétrica, de gastos com energia elétrica a partir das modalidades tarifárias disponíveis, bem como de viabilidade técnica/econômica da instalação de sistemas fotovoltaicos dentro deste contexto, para os consumidores residenciais estudados.

Capítulo 5: Conclusão dos resultados do trabalho, expondo sua importância e aplicabilidade da ferramenta para os consumidores e sugerindo, a partir dos resultados obtidos, motivações para estudos posteriores.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

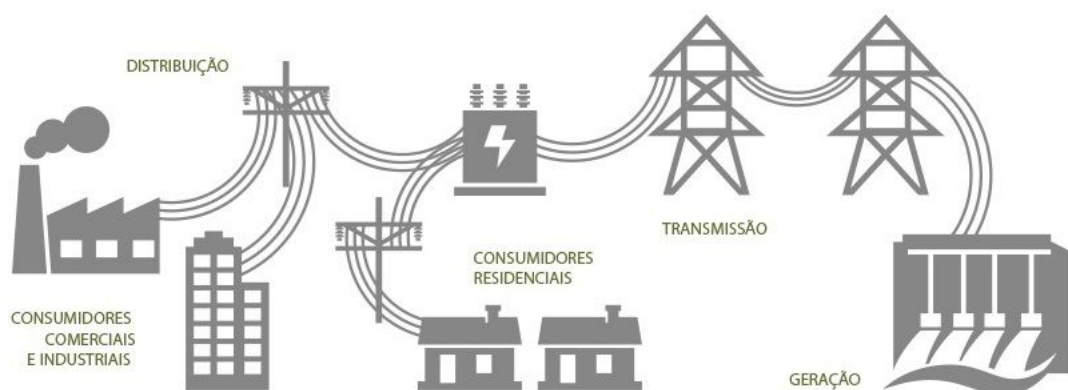
O setor elétrico brasileiro é ramificado em dois grupos: os agentes institucionais e agentes econômicos. O primeiro diz respeito aos setores que detêm as atividades políticas e regulatórias e o segundo, são agentes que possuem a concessão e permissão para exploração de atividades econômicas nos subgrupos: geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia (TOLMASQUIM, 2015).

Essa estrutura do setor elétrico, que pode ser denominada de Novo Modelo, foi instituída em 2004 a partir do Projeto de Reestruturação do Sistema do Setor Elétrico Brasileiro (Projeto RE – SSEB), iniciado em 1998 (CCEE, 2018).

A nova configuração teve como objetivo proporcionar uma maior competição entre as empresas de energia, garantindo a modicidade tarifária, isto é, uma tarifa acessível ao consumidor final e a segurança do suprimento de energia.

As usinas de geração de energia elétrica normalmente são localizadas longe dos centros consumidores. Assim, é necessário um sistema de transmissão para que a energia elétrica seja entregue aos usuários. O sistema de transmissão transporta energia elétrica até as distribuidoras, que a entregam para os consumidores. Existem ainda as comercializadoras, empresas autorizadas para comprar e vender energia para consumidores livres, que necessitam de maior quantidade de energia (ANEEL, 2018). Todo esse caminho que a energia elétrica percorre até o ponto final de consumo, passando por cada sistema, pode ser analisado de forma exemplificada na Figura 2.

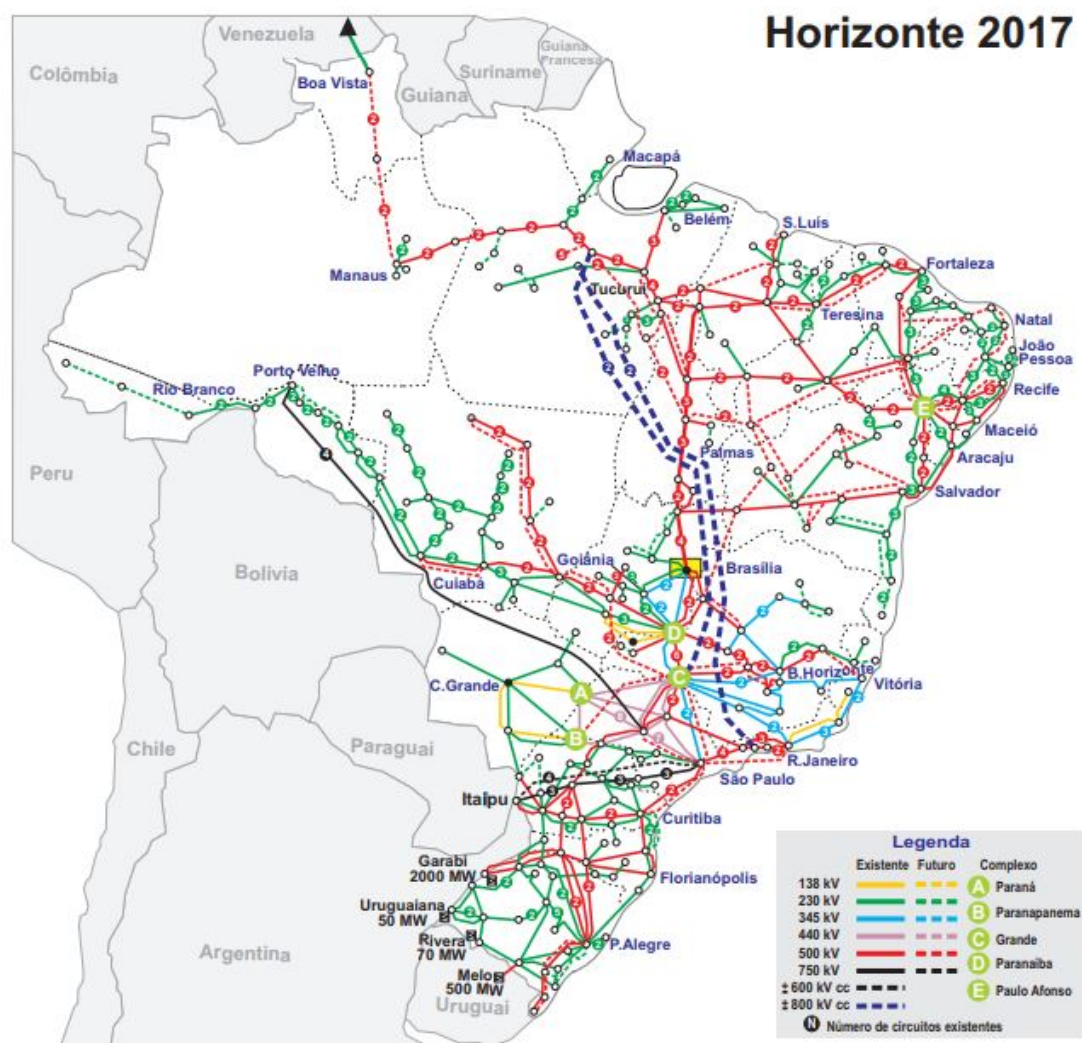
Figura 2 – Caminho genérico da energia elétrica até o consumidor.



Fonte: Federação das Indústrias do Paraná (FIEP).

A geração e transmissão de energia elétrica estão integradas no Sistema Interligado Nacional (SIN), conforme Figura 3, sendo um sistema hidro-termo-eólico com predominância de usinas hidrelétricas conforme dados do Banco de Informações de Geração (BIG) da ANEEL. O SIN é formado por quatro subsistemas: Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e a maior parte da região Norte (ONS, 2018).

Figura 3 – Mapa do Sistema Interligado Nacional do horizonte 2017.



Fonte: ONS (2017).

Esse sistema possibilita o intercâmbio de energia elétrica entre regiões, suprindo e complementando a necessidade de demanda existente a partir do planejamento da operação realizada pelo Operador Nacional do Sistema (ONS). Esse planejamento leva em consideração informações atualizadas sobre o cronograma de expansão da geração e transmissão, o atual armazenamento dos reservatórios, previsões atualizadas de carga de energia por patamar, a análise das condições meteorológicas verificadas e previstas nas principais bacias do SIN e previsões de aflúências para os aproveitamentos hidrelétricos (ONS, 2018).

A operação do SIN pode ser compreendida por meio de uma comparação do sistema com uma única máquina elétrica de diferentes proprietários, cujas relações comerciais de compra e venda de energia são regidas por meio de diversos contratos regulados (transporte e energia) e livremente negociados no mercado livre (energia). A operação está em um ambiente físico e a contratação em um ambiente financeiro. Assim, a operação do sistema não possui relação com os contratos de energia firmados entre os agentes. Os contratos de energia são registrados na Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) como forma de garantia de fornecimento da energia para os agentes de consumo.

Segundo CCEE (2018), desde 2014 a energia é comercializada em dois ambientes: Ambiente de Contratação Regulada (ACR), onde estão agentes de geração e distribuição de energia; e o Ambiente de Contratação Livre (ACL), com agentes de geração, distribuição, comercializadores, importadores e exportadores e os consumidores livres e especiais. No mercado de curto prazo é realizado o ajuste entre a energia medida e os volumes contratados e são liquidadas as diferenças existentes.

Para os consumidores com demanda contratada inferior a 500 kW é compulsória a contratação de energia da distribuidora da região em que estão, no ACR. As tarifas pelo consumo da energia são fixadas pela ANEEL e não podem ser negociadas. Todos os consumidores residenciais estão nesse mercado, assim como algumas empresas comerciais, indústrias e consumidores rurais. A fim de complementar os dados expostos anteriormente, as seções seguintes irão discorrer sobre estrutura e modalidades tarifárias.

2.2 ESTRUTURA TARIFÁRIA

Para que os consumidores tenham acesso à energia elétrica, através dos sistemas de transmissão e distribuição, é necessária a aplicação de um conjunto de tarifas que eventualmente são repassadas aos consumidores.

Segundo a ANEEL, o conjunto de tarifas repassadas no faturamento mensal ao consumidor destina-se a garantir aos prestadores de serviços do setor elétrico, receita suficiente para cobrir custos operacionais e remunerar investimentos futuros no sistema, possibilitando a expansão da capacidade de geração e transmissão e um melhor atendimento. A ANEEL, como órgão regulador do setor, é responsável por desenvolver metodologias de cálculo tarifário aos serviços do setor elétrico, considerando fatores de infraestrutura e econômicos. Neste contexto é necessário analisar a composição das tarifas de energia.

2.2.1 Composição da Tarifa

Para contratação de energia, a indústria, o comércio ou consumidor residencial precisam contratar o fornecimento da mesma, geralmente pela empresa de distribuição e a cada mês é enviado uma fatura para pagamento deste serviço.

Assim, para que a distribuidora consiga fornecer energia é necessário o repasse de uma tarifa a cada mês na conta de luz. Nesta tarifa de energia, são considerados três custos conforme Figura 4.

Figura 4 – Composição da Tarifa de Energia.



Fonte: ANEEL (2008).

Essa composição refere-se aos custos que a distribuidora tem para fornecer o serviço, ou seja, os gastos da aquisição da geração de energia, do transporte até as casas por meio de cabos de transmissão e distribuição e encargos setoriais. Além disso, são cobrados tributos federais, estaduais e municipais.

Com o novo modelo do setor elétrico brasileiro empregado em 2004, a aquisição de energia elétrica pela distribuidora se dá por meio de leilões realizados pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) e delegados pela ANEEL. Dessa forma, a distribuidora usa o critério de menor tarifa visando reduzir os custos da aquisição a serem repassados aos consumidores (CCEE, 2018).

Como a geração de energia no Brasil é oriunda majoritariamente de hidrelétricas essa geração fica dependente de chuvas e níveis de água em seus reservatórios. Quando essas condições hidrológicas são desfavoráveis a produção de energia nas usinas hidrelétricas é reduzida e faz se necessário acionar as usinas termelétricas. Deste modo, o custo da geração de energia é maior, isto porque a geração por térmicas depende de combustíveis como o gás natural, carvão, óleo combustível e diesel (COPEL, 2018).

Para que o consumidor tenha consciência sobre as condições de geração e os custos repassados, entrou em vigor em 2015 o Sistema de Bandeiras Tarifárias aplicado

ao SIN. Este sistema sinaliza ao consumidor, por meio de três cores de bandeiras, se foi necessário complementar a demanda de energia acionando as térmelétricas e o custo em reais no mês utilizado (ANEEL, 2015a).

A ANEEL publica todo mês qual bandeira entrará em operação estabelecendo seus valores. A estrutura de como funciona esse sistema e seus valores atualmente (sem os tributos aplicados) podem ser analisados conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Sistemas de Bandeiras Tarifárias: Condições e Custos.

Bandeira	Condições da Geração de Energia	Custos
Bandeira Verde	Condições favoráveis	Não há acréscimo na tarifa
Bandeira Amarela	Condições menos favoráveis	Acréscimo de R\$ 1,00 para cada 100 kWh
Bandeira Vermelha	Condições desfavoráveis	Patamar 1: Acréscimo de R\$ 3,00 para cada 100 kWh Patamar 2: Acréscimo de R\$ 5,00 para cada 100 kWh

Fonte: COPEL (2018).

Os custos em relação ao transporte de energia até as casas dizem respeito à transmissão e distribuição da mesma por meio de linhas. O custo com a transmissão é repassado pela chamada Tarifa de Uso da Transmissão (TUST) e os da distribuição pela Tarifa de Uso da Distribuição (TUSD).

De acordo com a cartilha “Por Dentro da Conta de Luz Informação de Utilidade Pública” publicada pela ANEEL em 2008, os encargos são contribuições definidas por leis aprovadas pelo Congresso Nacional. Alguns estão inseridos sobre o custo da distribuição e outros embutidos no custo de geração e transmissão (ANEEL, 2008).

Os tributos federais, estaduais e municipais inclusos na fatura são o Programa de Integração Social (PIS), Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS), Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) e Contribuição de Iluminação Pública (CIP).

Portanto, a ANEEL estabelece a tarifa de energia por meio de resolução, sem os tributos, para cada classe de consumidor e a distribuidora inclui os tributos para então enviar a conta de luz final.

Todos esses custos podem ser classificados de dois tipos, “Parcela A” que diz respeito à compra de energia, transmissão e encargos setoriais, ou seja, valores que

a concessionária de distribuição não gerencia, são apenas repassados, e “Parcela B” que diz respeito aos custos gerenciados pela própria distribuidora, como despesas de operação e manutenção, cota de depreciação e remuneração de investimentos (ANEEL, 2015b).

A composição da tarifa, sem os impostos, pode ser resumida na equação 1.

$$T = P_A + P_B$$

Onde:

T: Tarifa

P_A : Parcela A (Custos com geração, transmissão, encargos setoriais)

P_B : Parcela B (Custos da distribuição)

As tarifas de energia são aplicadas conforme as classes dos consumidores e a respectiva modalidade tarifária.

2.2.2 Grupos de Consumidores

Os consumidores de energia elétrica são classificados conforme a Resolução Normativa N^o414/2010 por classes e subclasses. Essas classes são separadas em dois grupos em função do nível de tensão em que são atendidos e em função da demanda (kW) (ANEEL, 2010). As classes dos consumidores são expostas da seguinte maneira, destacando apenas as subclasses da classe Residencial, sendo foco do presente trabalho.

- Residencial: residencial, residencial baixa renda, residencial baixa renda indígena, residencial baixa renda quilombola, residencial baixa renda benefício de prestação continuada da assistência social e residencial baixa renda multifamiliar.
- Industrial
- Comercial
- Rural
- Poder público

Com a classificação, é possível constituir dois grupos de consumidores. O grupo A é composto por unidades consumidoras atendidas em alta tensão, isto é, acima de 2,3kV, como indústrias, shopping centers e algumas áreas e prédios comerciais. Este grupo é subdividido da seguinte forma:

- Subgrupo A1 - tensão de fornecimento igual ou acima de 230kV.

- Subgrupo A2 - tensão de fornecimento de 88kV a 138kV.
- Subgrupo A3 - tensão de fornecimento de 30kV a 44kV.
- Subgrupo A3a - tensão de fornecimento de 30kV a 44kV.
- Subgrupo A4 - tensão de fornecimento de 2,3kV a 25kV.
- Subgrupo AS - tensão de fornecimento inferior a 2,3kV, com sistema subterrâneo de distribuição.

O grupo B é constituído por unidades consumidoras com fornecimento em tensão inferior a 2,3kV, isto é, atendidos em baixa tensão, como residências, lojas, edifícios residenciais, agências bancárias, pequenas indústrias. Os subgrupos são:

- Subgrupo B1 - Residencial.
- Subgrupo B2 - Rural.
- Subgrupo B3 - Demais classes.
- Subgrupo B4 - Iluminação Pública.

2.2.3 Modalidades Tarifárias

As modalidades tarifárias são o conjunto de tarifas aplicadas conforme o consumo de energia e/ou demanda de potência ativa para cada consumidor, definidas na Resolução Normativa nº414/2010. Atualmente, existem quatro modalidades tarifárias que podem ser divididas em modalidade tarifária convencional, caracterizada por ser uma tarifa monômnia, ou seja, a tarifa é aplicada apenas ao consumo de energia, independentemente dos horários utilizados e modalidades tarifárias horárias, faturadas conforme postos tarifários estabelecidos na Resolução Normativa (REN) nº414/2010, isto é, conforme as diferentes horas de utilização do dia. Essas modalidades são aplicadas conforme os grupos de consumidores.

Para o Grupo A, existem duas opções de modalidades tarifárias nas quais as tarifas aplicadas são chamadas de Tarifas Binômias, em que os preços são aplicáveis ao consumo de energia elétrica ativa (kWh) e à demanda faturável (kW).

As modalidades aplicadas ao grupo A, são modalidades horárias chamadas de modalidade tarifária horária azul e modalidade tarifária horária verde. Na tarifa azul são cobrados valores diferenciados de acordo com o horário de utilização tanto para o consumo de energia ativa quanto para a demanda faturável. Já na tarifa verde, a tarifa horária é aplicada somente para o consumo de energia ativa.

Para o grupo B, existia apenas a modalidade tarifária convencional, porém recentemente também foi criado um modelo de tarifação horária, chamada Tarifa Branca aplicável ao consumo de energia ativa.

Nas seções seguintes serão detalhadas as modalidades convencional e branca que são o foco deste trabalho para este grupo de consumidores.

2.2.4 Tarifa Convencional

A modalidade tarifária convencional caracteriza-se por ser uma tarifa faturada independentemente dos horários utilizados e aplicada para o grupo de consumidores estabelecidos no grupo B.

Essa tarifa tem seu valor faturado conforme o consumo de energia elétrica ativa (kWh) medido. A equação 2 mostra o cálculo da parcela a ser paga pelo consumidor utilizando a tarifa convencional (PROCEL, 2011).

$$P_{consumo} = (T_{consumo} * C_{medido})$$

Onde:

$P_{consumo}$: Parcela do Consumo

$T_{consumo}$: Tarifa Consumo

C_{medido} : Consumo Medido

2.2.5 Tarifa Branca

Em seu trajeto dos pontos de geração até as unidades consumidoras, a energia elétrica percorre toda uma infraestrutura de geração e transmissão. Como o consumo não acontece de forma constante, as redes apresentam períodos de utilização mais intensos e períodos ociosos. Contudo, seu dimensionamento é realizado para atender os picos de consumo, que acontecem em determinados horários do dia. Deste modo, o aumento do consumo nesses períodos acarreta na expansão da capacidade instalada e da estrutura de transmissão e distribuição necessárias.

De forma a otimizar o fator de utilização das redes e atenuar os custos com expansão de disponibilidade do sistema, foi criada a tarifa branca, uma nova opção de tarifa aos consumidores, a qual sinaliza a variação do valor de energia conforme o dia e o horário do consumo, fazendo uso dos postos tarifários. As condições para a aplicação da modalidade tarifária horária branca são estabelecidas na Resolução Normativa nº 733/2016.

Segundo a Resolução Normativa nº 733/2016, desde janeiro de 2018 os consumidores que se enquadram nos critérios dispostos na resolução podem solicitar a

adesão à tarifa branca ou a instalação de medidores com funcionalidades adicionais. A migração é facultativa e foi programada para acontecer de forma gradual. Com a entrada em vigor da resolução, puderam migrar as novas conexões e unidades consumidoras com média anual de consumo superior a 500 kWh por mês. Posteriormente, em 2019, poderão migrar as unidades consumidoras com média anual de consumo superior a 250 kWh por mês e por fim, em 2020, todas as unidades consumidoras.

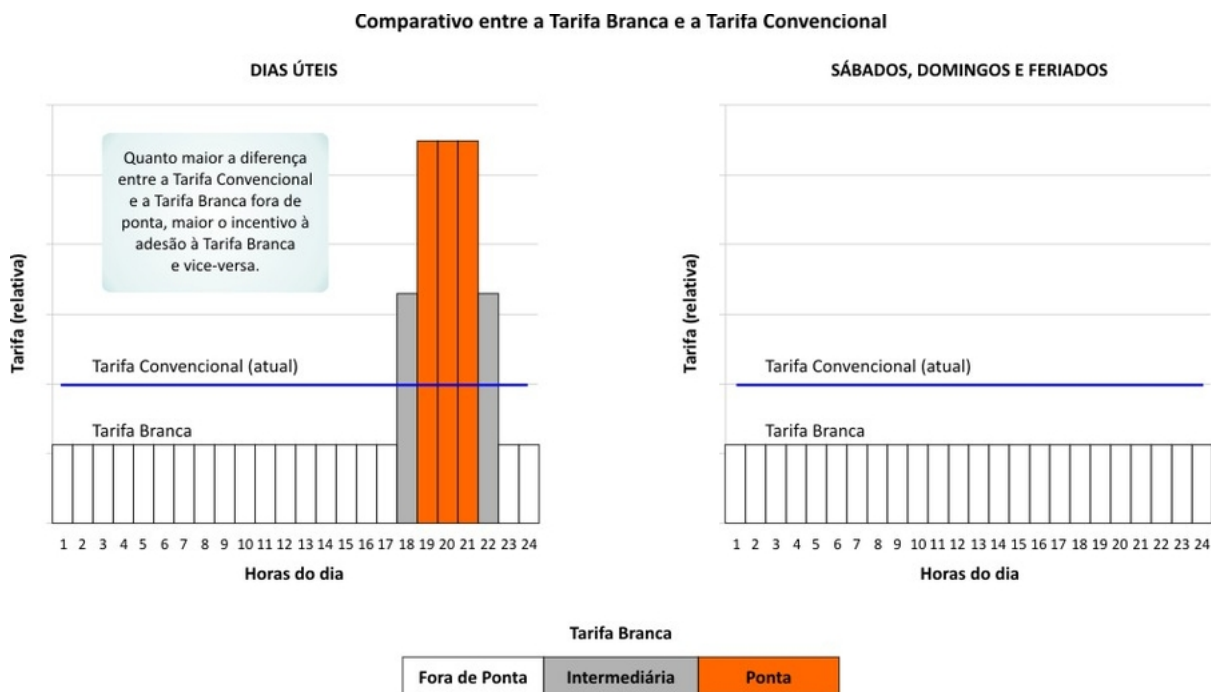
Podem optar pela tarifa branca todas as unidades consumidoras do grupo B, exceto as unidades consumidoras da subclasse baixa renda da classe residencial, da classe iluminação pública e aquelas com faturamento pela modalidade de pré-pagamento.

As solicitações de migração devem ser atendidas pela distribuidora em até trinta dias para unidades consumidoras já atendidas ou atender os prazos e procedimentos para vistoria e ligação dispostos na Resolução Normativa nº 414, de 2010, no caso de novas solicitações de fornecimento. O consumidor pode solicitar, em qualquer momento, o regresso à modalidade tarifária convencional e essa alteração deve ser providenciada em até trinta dias. Após o retorno, uma nova adesão à tarifa branca só poderá ocorrer após 180 dias ou a critério da distribuidora, em prazo inferior.

A COPEL (Companhia Paranaense de Energia) orienta as unidades consumidoras situadas em sua região de atuação que a adesão à tarifa branca deve ser formalizada por meio de um Termo de Opção, disponível no site da distribuidora, que deve ser entregue em um dos seus postos de atendimento. Para a migração, a COPEL também orienta que será necessária a troca do medidor da energia, custo atribuído à distribuidora. A entrada de serviço da unidade consumidora deve estar de acordo com a NTC 902204 e eventuais adequações devem ser providenciadas pelo consumidor.

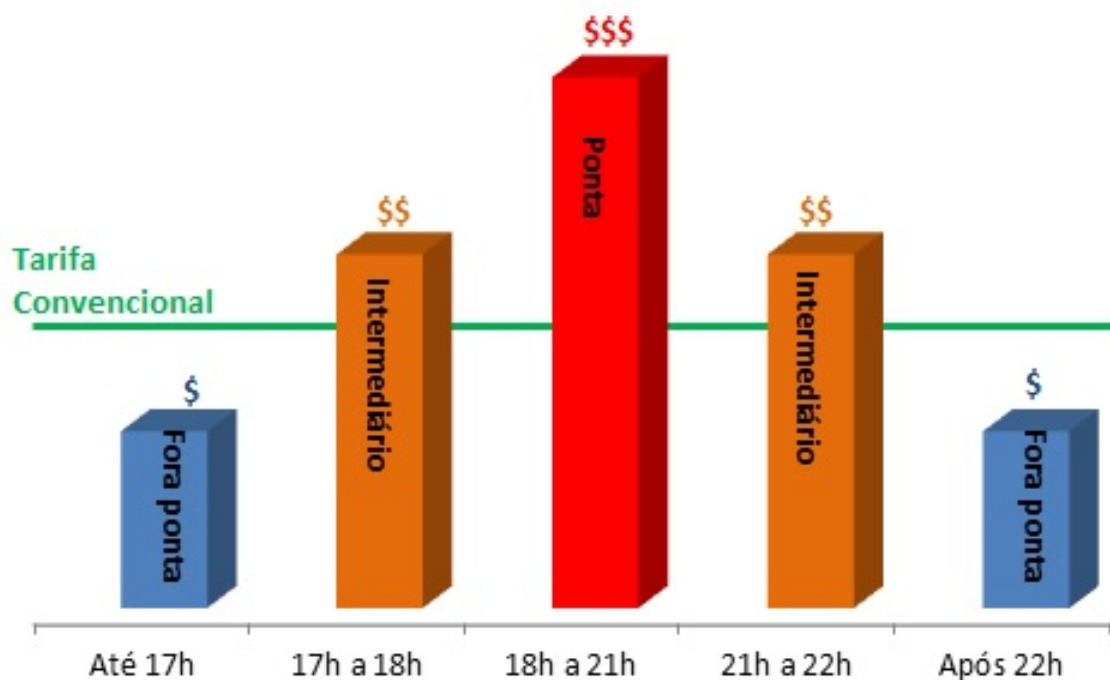
Basicamente a tarifa branca consiste em promover incentivos financeiros para que o consumidor centralize seu consumo no período fora de ponta, de modo a reduzir seus gastos com energia elétrica, e ao mesmo tempo, otimizar a utilização das redes de distribuição. Os valores da energia na tarifa branca variam em função da hora e do dia da semana. Em dias úteis o valor da tarifa branca varia em três horários: ponta (com maior demanda de energia), intermediário e fora de ponta, como mostra a Figura 5. Nos horários intermediário e na ponta, a energia é mais cara, e fora de ponta, mais barata. Nos feriados nacionais e finais de semana o valor da energia é o fora de ponta durante todo o dia.

Figura 5 – Comparativo entre Tarifa Branca e Convencional.



Os períodos horários de ponta, intermediário e fora de ponta são estabelecidos por cada distribuidora e homologados pela ANEEL nas revisões tarifárias periódicas de cada distribuidora, que ocorrem a cada quatro anos, em média. A COPEL determina como horário de ponta a faixa entre as 18h00 e às 21h00, como horário intermediário das 17h00 às 18h00 e das 21h00 às 22h00 e como fora de ponta das 22h00 às 17h00, conforme mostra a Figura 6. No horário de verão o horário de ponta é postergado para a faixa entre as 19h00 e às 22h00, o horário intermediário das 18h00 às 19h00 e das 22h00 às 23h00 e como fora de ponta das 23h00 às 18h00.

Figura 6 – Períodos horários para aplicação da tarifa branca estabelecidos pela COPEL.



Fonte: COPEL (2018).

A parcela de consumo é calculada na tarifa branca multiplicando-se o consumo medido em cada faixa de horário por sua respectiva tarifa de consumo, como mostra a Equação 3:

$$P_{consumo} = (C_{FP} * T_{FP}) + (C_{INT} * T_{INT}) + (C_P * T_P)$$

Onde:

$P_{consumo}$: Parcela do Consumo

C_{FP} : Consumo de energia fora de ponta

T_{FP} : Tarifa de energia fora de ponta

C_{INT} : Consumo de energia no horário intermediário

T_{INT} : Tarifa de energia no horário intermediário

C_P : Consumo de energia na ponta

T_P : Tarifa de energia na ponta

A Tabela 2 apresenta os valores da tarifa branca para os consumidores do grupo B, para cada faixa de horário de consumo e também os valores da tarifa convencional, constante para todos os horários. Todos os valores apresentados estão sem a incidência de impostos (ICMS, PIS e COFINS). A tabela mostra também a diferença de valores entre as tarifas disponíveis.

Tabela 2 – Tarifas da COPEL sem incidência de tributos.

Tarifa Branca			Convencional	Diferença
Residencial	Ponta	0,81674	0,44056	85%
	Intermediária	0,53154		21%
	Fora Ponta	0,37245		-15%
Comercial	Ponta	0,85788	0,44056	95%
	Intermediária	0,55623		26%
	Fora Ponta	0,38067		-14%
Rural	Ponta	0,57172	0,30839	85%
	Intermediária	0,37208		21%
	Fora Ponta	0,26071		-15%

Fonte: Copel (2018).

A partir da comparação dos valores das tarifas, nota-se que se o consumidor adotar hábitos que aloquem seu uso de energia para fora do período de ponta, diminuindo o seu consumo neste horário e no período intermediário, a Tarifa Branca oferece uma oportunidade de reduzir o valor pago pelo consumo de energia. Entretanto, o consumo concentrado no horário de ponta e no intermediário se torna muito oneroso nessa modalidade.

Assim, recomenda-se que antes de optar pela Tarifa Branca, o consumidor conheça o seu perfil de consumo e verifique se é possível realocar o seu uso de

energia para fora dos horários de tarifa mais cara. Quanto menor o consumo de energia nestes horários e maior a diferença entre os valores de tarifa, mais vantajosa é a migração para a Tarifa Branca.

2.3 CONSUMO DE ENERGIA RESIDENCIAL

O consumo de energia é um importante indicador de desenvolvimento econômico e humano, estando altamente correlacionado ao Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e ao Produto Interno Bruto (PIB), pois reflete tanto o ritmo da economia quanto a capacidade da população de adquirir bens e serviços tecnológicos mais avançados que exigem o uso de energia elétrica (GOLDENBERG E LUCON, 2012). Pode-se constatar isso através da Tabela 3, que mostra o IDH e o consumo de energia residencial per capita das regiões brasileiras. Pode-se observar que nas regiões com IDH mais elevado, o consumo de energia é maior.

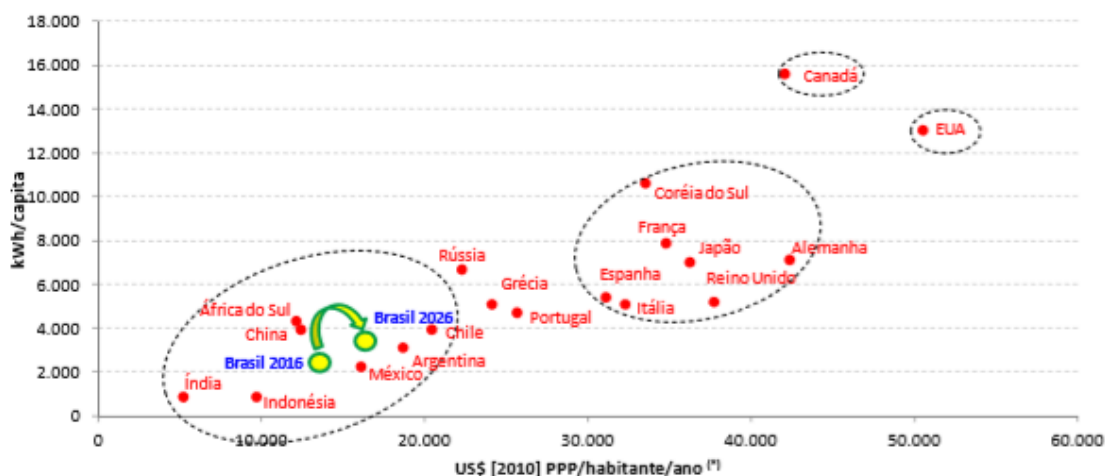
Tabela 3 – Consumo por região.

Região	População	IDH médio	Consumo de energia	Consumo de energia per capita (kWh/pessoa ano)
Norte	15.864.454	0,6839	3.154.348	198,3812
Nordeste	53.081.950	0,6598	15.172.654	285,8345
Sudeste	80.364.410	0,7538	27.555.599	339,1501
Sul	27.386.891	0,7563	8.272.733	302,0691
Centro-Oeste	11.487.934	0,7297	4.150.745	361,3134

Fonte: Elaboração própria com base em dados do EPE e PNUD (2018).

A Figura 7 mostra um gráfico elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) que relaciona o consumo de energia per capita com o PIB per capita de diversos países. Além da posição atual brasileira, o gráfico também coloca uma projeção para o ano de 2026. Por meio deste gráfico é possível notar que países com PIB mais elevado apresentam um consumo de energia per capita maior.

Figura 7 – Relação do consumo de energia per capita e PIB.



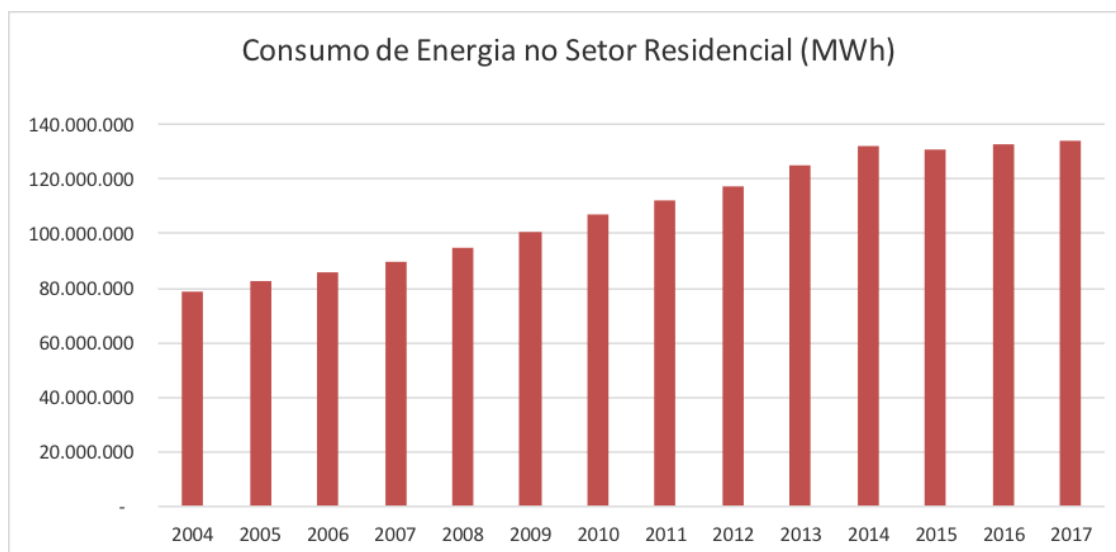
(*) PIB per capita referenciado a US\$ [2010] PPP (Power Purchase Parity). Os dados são relativos ao ano de 2014 para todos os países com exceção do Brasil.

Nota: considera o consumo total de eletricidade, incluindo a autoprodução.

Fonte: EPE (2016).

Em 2017, o consumo residencial no Brasil totalizou aproximadamente 134.000.000 MWh, distribuídos entre as 70.908.823 unidades consumidoras. Este número representa quase 30% da carga total do Sistema Interligado Nacional (SIN), participação que cresceu ao longo dos últimos anos, juntamente com o incremento do consumo desta classe, como mostra a Tabela 4 e a Figura 8 (EPE, 2018).

Figura 8 – Consumo de Energia no Setor Residencial.



Fonte: Adaptado de EPE (2018).

Tabela 4 – Consumo residencial entre os anos de 2004 e 2017.

Ano	Consumo Residencial (MWh)	Consumo Total do SIN (Mwh)	% Residencial na Carga Total
2004	78.740.110	329.707.427	23,80%
2005	82.644.256	344.283.675	24,00%
2006	85.783.826	356.129.316	24,09%
2007	89.885.372	377.030.014	23,84%
2008	94.746.389	388.472.399	24,39%
2009	100.776.170	384.472.399	26,22%
2010	107.214.670	415.667.758	25,79%
2011	111.970.666	433.015.634	25,86%
2012	117.645.850	448.126.391	26,25%
2013	124.907.962	463.142.494	26,97%
2014	132.301.850	474.822.681	27,86%
2015	131.189.768	465.306.831	28,19%
2016	132.827.085	461.409.178	28,80%
2017	133.904.320	465.143.210	28,79%

Fonte: Adaptado de EPE (2018).

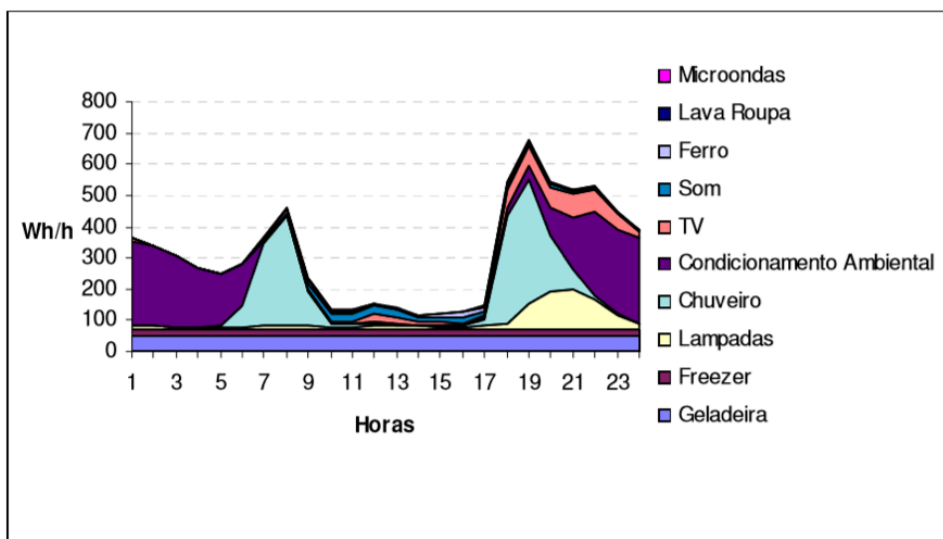
O Relatório da Pesquisa de Posse de Eletrodomésticos e Hábitos de Uso - Classe Residencial, é uma iniciativa realizada nos anos de 1988, 1997 a 1998 e 2004 a 2005, a partir da coleta de dados por meio de entrevistas com moradores de todas as regiões do Brasil. Esse relatório foi implementado pela Eletrobrás/Procel, no âmbito do “Programa de Eficiência Energética para o Brasil (PEE), com recursos doados pelo Global Environment Facility (GEF), repassados pelo Banco Internacional para a Reconstrução e Desenvolvimento (BIRD) e com o suporte do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD).

Para a última versão, publicada em 2007 com dados de 2005, foram entrevistados 5.625 moradores em 284 cidades distribuídas em 18 estados e administradas por 21 concessionárias (PROCEL, 2007).

A partir dos dados obtidos nos questionários foram realizados diversos levantamentos, dentre eles as curvas de carga para cada região. As Figuras 9 e 10 mostram, respectivamente, as curvas de carga típicas para a Região Sul e para o Brasil para

consumidores residenciais.

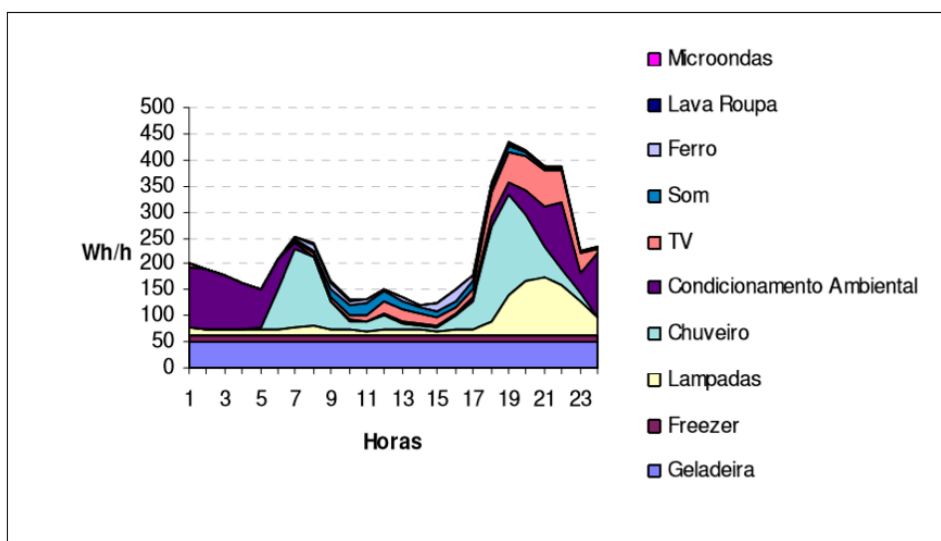
Figura 9 – Curva de Carga para a Região Sul.



Fonte: ELETROBRAS E PROCEL (2007).

Observa-se, na Região Sul, uma maior participação do chuveiro elétrico na curva de carga quando comparada à curva brasileira. O condicionamento de ar também tem grande representatividade no período noturno. Como nesta região as temperaturas são geralmente mais baixas, faz-se o uso do chuveiro elétrico em sua potência máxima e de equipamentos de condicionamento ambiental operando em modo de aquecimento.

Figura 10 – Curva de Carga nacional.

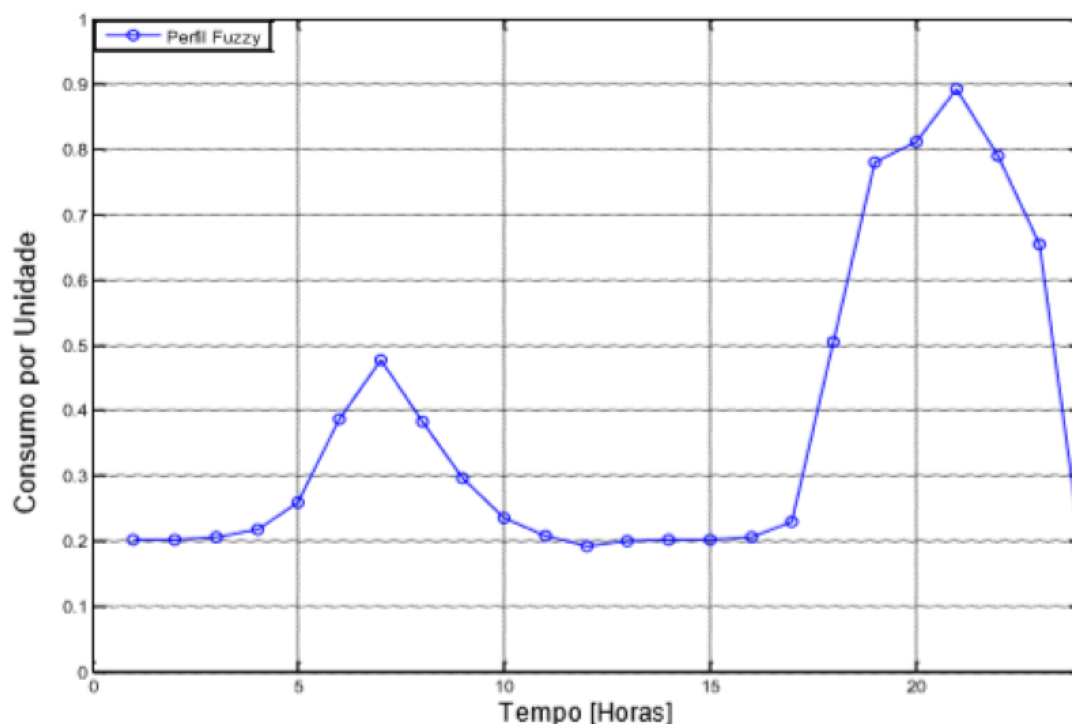


Fonte: ELETROBRAS E PROCEL (2007).

O trabalho de Santos (2016) estimou o perfil da curva de carga por meio da utilização de um sistema *fuzzy*. Através da correlação entre o consumo de energia

residencial com a ocupação ativa, o estudo considerou o número de ocupantes na residência e os períodos do dia ao longo de 24 horas. Assim, obteve-se uma simulação do perfil de carga elétrica e foram detectados os picos de demanda com o objetivo de fornecer uma base de dados que permita um melhor gerenciamento da demanda, incentivando a utilização racional da energia elétrica. Os dados obtidos pelo sistema *fuzzy* foram comparados com curvas de carga reais e os resultados foram considerados promissores. A Figura 11 apresenta as curvas de carga simuladas no estudo. A figura retrata o perfil de uma unidade consumidora, para um período de 24 horas, em um dia no qual a temperatura está abaixo de 15º Celsius, sendo consideradas uma classe de residências com no máximo 5 habitantes. Esses moradores trabalham 8 horas por dia e residem em grandes centros urbanos (SANTOS; LOTUFO, 2016).

Figura 11 – Curva de Carga simulada.



Fonte: Santos (2016).

2.4 GERENCIAMENTO POR RESPOSTA DA DEMANDA

A tarifa de energia é o valor cobrado por unidade de energia (R\$/kWh) e engloba todos os custos envolvidos desde o processo de geração até a chegada ao consumidor e também a disponibilidade contínua de energia. Deste modo, o valor cobrado pela energia deve ser o bastante para subsidiar todos os custos operacionais e de expansão do sistema em todo o caminho da energia até o consumidor final, cobrindo os investimentos realizados na rede.

Assim, de modo a otimizar o consumo de energia e tentar atenuar os custos operacionais e com expansão do sistema, a ANEEL criou a Tarifa Branca. Utilizando estimativas dos custos de fornecimento de energia ao longo do dia, foram estabelecidos preços distintos para o consumo de acordo com o horário e dia da semana, já que horários com pico de consumo exigem maior capacidade da rede elétrica. Tal medida de resposta da demanda já era aplicada para consumidores conectados em alta tensão, que pagam valores diferenciados para consumo e demanda de acordo com as horas de utilização do dia.

Programas de resposta de demanda são mecanismos criados para gerenciamento da demanda de energia dos consumidores em resposta às condições de fornecimento e podem ser classificados em duas categorias: baseados em tarifas temporais e baseados em incentivos. Os programas baseados em incentivos oferecem benefícios financeiros para os consumidores reduzirem o uso de energia durante momentos de estresse do sistema ou para aumentar a confiabilidade do sistema. Já programas de resposta de demanda baseados em tarifas temporais cria diferentes valores tarifários em função do horário de consumo, promovendo uma resposta no consumo aos sinais de preço (GELLINGS, 2009).

Programas de resposta da demanda são desenhados para fornecer ao consumidor o verdadeiro custo da geração de energia através de um sinal de preço que reflete com mais precisão a variação de seu custo ao longo do dia. Durante a faixa de horário de ponta o consumidor irá pagar uma tarifa mais elevada. Essa estrutura gera uma oportunidade do consumidor reduzir sua conta de energia por meio da redução do consumo do período de ponta, já que fora deste horário a energia apresenta um valor mais atrativo (FARUQUI et al., 2009).

2.5 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE

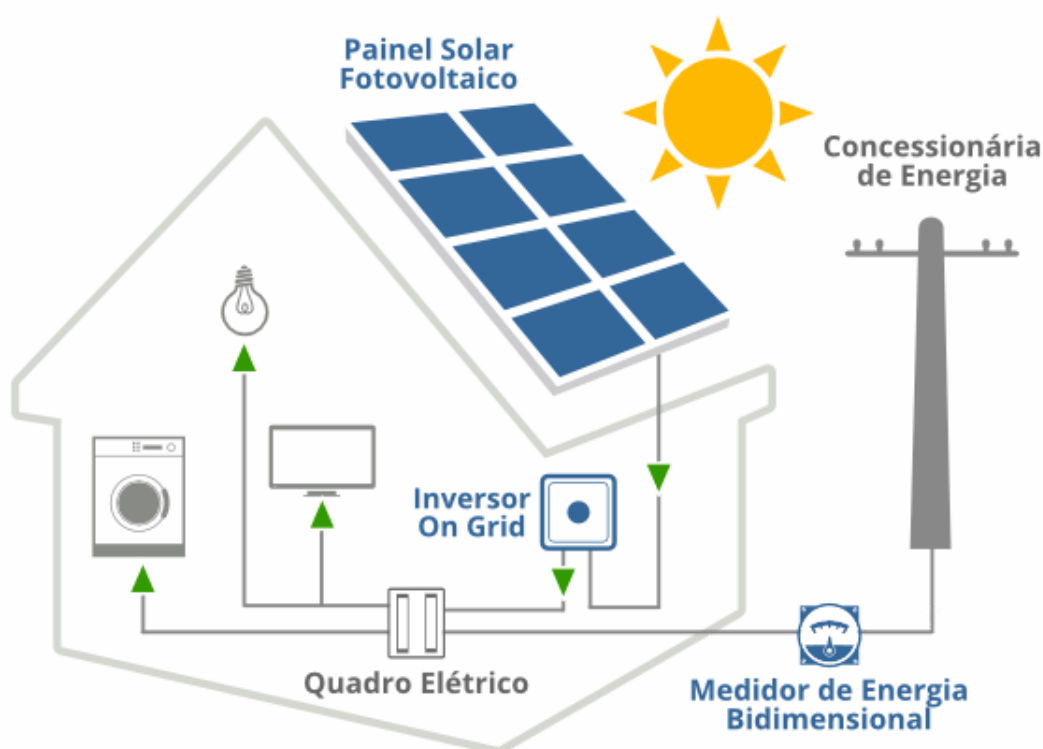
Os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica (SFVCRs) são constituídos pelo painel fotovoltaico, pelo inversor e por um medidor de energia bidirecional como pode ser visto na Figura 12. Nos sistemas conectados à rede toda a energia gerada é colocada em paralelo com a energia da rede. Esse sistema apresenta como principais vantagens a ausência da necessidade de um conjunto de baterias e a elevada produtividade, já que toda a energia gerada pelos módulos é utilizada. Quando ocorre alguma interrupção no fornecimento de energia na rede o inversor desliga o sistema automaticamente, evitando o fenômeno do ilhamento¹ (URBANETZ JR., 2010).

O inversor tem a função de converter em corrente alternada (compatível com a

¹ Ilhamento é o fenômeno que ocorre quando parte da rede é desconectada do sistema, mas continua sendo energizada por um ou mais geradores distribuídos conectados a ela, formando um subsistema isolado.

rede de distribuição de energia elétrica) a energia produzida pelas unidades geradoras, que é gerada na forma de corrente contínua. O inversor deve contar também com funções de proteção e seu funcionamento deve estar de acordo com o especificado nas Normas Brasileiras (NBR) vigentes. As distribuidoras de energia aceitam somente o uso de modelos certificados, declarados pela distribuidora ou certificados pelo Inmetro (COPEL, 2015).

Figura 12 – Arranjo do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede.



Fonte: Solar Energy do Brasil (2016).

A COPEL estabelece, pela Especificação Técnica (ETC) 4.15, requisitos mínimos para utilização de um medidor eletrônico bidirecional, sendo de caráter obrigatório para conexão de um SFVCR. Segundo o documento, o medidor deve ser capaz de medir e registrar energia ativa em ambos os sentidos de fluxo e também características das fases, como nível de tensão e sequência.

Por fim, tem-se o módulo fotovoltaico como componente principal do SFVCR. Formado por células fotovoltaicas conectadas em arranjos série ou paralelo a fim de obter-se um nível de tensão e corrente específico, o módulo se utiliza do efeito fotovoltaico para geração de energia elétrica. Alguns fatores como sombreamento sobre o módulo, efeito de irradiação, temperatura e inclinação são de extrema importância para seu projeto (PINHO; GALDINO, 2014).

2.5.1 Geração Distribuída

A geração distribuída pode ser definida como uma fonte de energia elétrica conectada diretamente à rede de distribuição ou no local do medidor do cliente (ACKERMANN; ANDERSSON; SÖDER, 2001). Tais fontes podem ter como geração qualquer categoria de matriz energética, desde que atendam os pré-requisitos da concessionária ou órgão regulador responsável pela linha de distribuição.

Os SFVCRs funcionam, em maior número, na modalidade de Geração Distribuída. O conceito de geração distribuída surgiu na legislação brasileira no artigo 14 do Decreto 5.163, de julho de 2004. O artigo descreve a geração distribuída como aquela em que a produção de energia elétrica é proveniente de agentes concessionários, permissionários ou autorizados, conectados diretamente ao sistema elétrico de distribuição do comprador (BRASIL, 2004).

A regulamentação deste modelo de geração ocorreu em abril de 2012, através da Resolução Normativa 482 da ANEEL, que estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e sistema de compensação de energia elétrica.

O sistema de compensação de energia elétrica consiste no empréstimo gratuito à distribuidora local da energia ativa injetada na rede por uma unidade consumidora com geração distribuída, futuramente compensado com o consumo de energia elétrica ativa dessa mesma unidade consumidora. Ou seja, o excedente de energia é convertido em um crédito de energia, utilizado para abater o consumo de energia nos meses seguintes (ANEEL, 2012). Esses sistemas devem atender aos Procedimentos de Distribuição (PRODIST), Módulo 3, e às normas de acesso das distribuidoras locais.

Visando um maior incentivo a geração distribuída no Brasil, a ANEEL identificou alguns pontos que precisavam ser melhor discutidos na Resolução, que poderiam ser possíveis gargalos para o desenvolvimento dessa modalidade de geração. Os pontos colocados foram: elevado tempo total gasto para conexão, limitação da potência máxima em 1 MW, pequena quantidade de sistemas instalados no âmbito do sistema de compensação de energia elétrica, regra não alcança todas as fontes renováveis e fixa limites muito restritos de potência e a proibição da utilização de créditos em unidades consumidoras de titularidades diferentes. Essas mudanças entraram em vigor em março de 2016, por meio da REN 687 da ANEEL.

2.5.2 Panorama de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede

Até 30 de Junho de 2018, o Brasil atingiu 290MW de potência instalada, levando em conta sistemas fotovoltaicos de microgeração e minigeração, sendo eles gerações

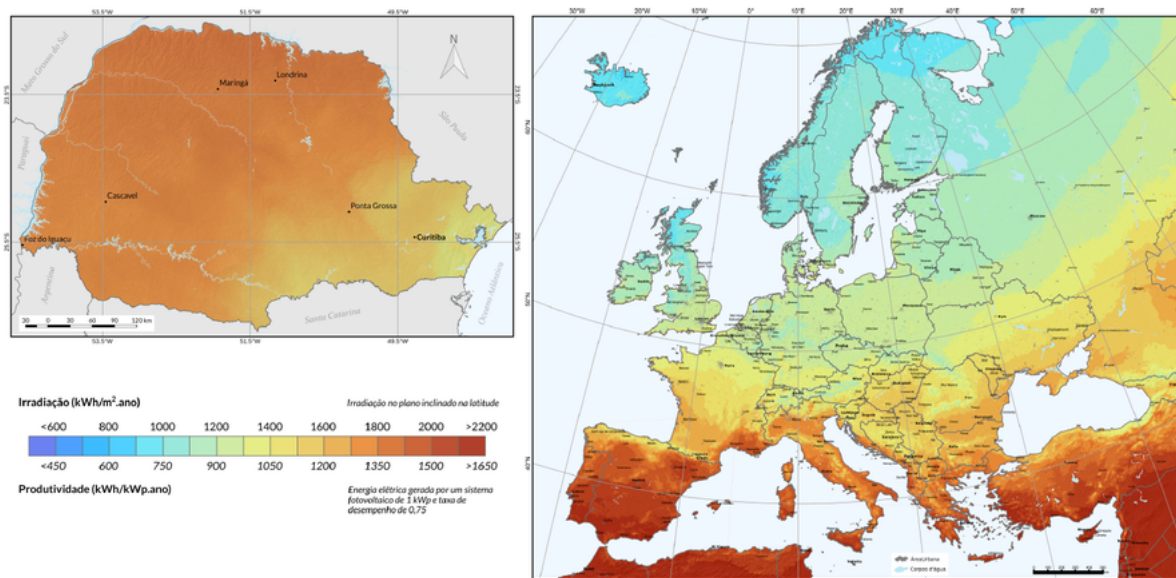
residenciais, comerciais e rurais. Em relação a quantidade de sistemas instalados, os consumidores residenciais representam 77,4% do total de aproximadamente 21500 SFVCR (ABSOLAR, 2018).

O cenário da geração elétrica solar fotovoltaica segue em ascensão nos últimos anos. Segundo o Relatório Final do Balanço Energético Nacional 2017, este tipo de geração sofreu um crescimento de 44,7% ao compararmos a variação de energia gerada entre os anos de 2015 e 2016, respectivamente. Uma diferença de 59GWh para aproximadamente 85GWh (EPE, 2017).

O Estado do Paraná, já conta com uma quantidade de SFVCR considerável, onde possui um potencial de captação de energia solar significativo se comparado com os maiores países geradores da Europa, tendo como produtividade média, um valor aproximadamente 43,0% superior ao da Alemanha e 55,1% maior que o Reino Unido (TIEPOLO et al., 2017).

Considerando os valores de produtividade média anual e níveis de irradiação, o Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná (2017) aponta que somente seis de 33 países europeus analisados possuem média superior ao Estado do Paraná, mostrando como grande potencial a região norte e centro-oeste do estado, como mostra a Figura 13.

Figura 13 – Mapa de produtividade e irradiação para o estado do Paraná e Europa



Fonte: TIEPOLO et al., (2017).

O interesse do consumidor para instalação de um SFVCR depende basicamente de fatores como viabilidade técnica e econômica. Esse último podendo sofrer incentivo de órgãos governamentais como isenções fiscais que ocorrem, por exemplo, com a remoção da taxa de ICMS sobre a energia elétrica por parte dos estados. No entanto,

o Paraná é um dos únicos estados a não aderir ao Convênio ICMS 75/16 que se aplica à unidades sujeitas a faturamento sob o sistema de compensação de energia elétrica, tratado pela resolução normativa 428 da ANEEL. Sendo assim um fator negativo para a expansão do uso da energia solar no estado.

Segundo o Convênio ICMS 75/16 publicado pelo Conselho Nacional de Política Fazendária, fazem parte, no Brasil, os seguintes estados: Acre, Alagoas, Bahia, Ceará, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio de Janeiro, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul, Rondônia, Roraima, São Paulo, Sergipe, Tocantins e o Distrito Federal.

2.5.3 Viabilidade Econômica

Dentre outros fatores, pode-se observar um crescimento da viabilidade econômica da instalação de um SFVCR, levando em conta o aumento da tarifa da energia ao passo em que o custo dos equipamentos como módulos fotovoltaicos, inversores de frequência, equipamentos elétricos e instalação acompanham uma tendência de queda. No período de 2010 até 2017, os custos de painéis fotovoltaicos sofreram uma redução de 70% (IEA, 2017).

Estes sistemas tornam-se opção não só para um consumo consciente a partir de uma fonte renovável, mas também uma possível redução na tarifa de energia, através de um crédito de energia calculado a partir da injeção de energia excedente - que pode ser compensado - por um prazo de até 60 meses (Resolução ANEEL nº 482/2012).

No entanto, o cálculo da viabilidade econômica da instalação de um painel fotovoltaico não se resume apenas a injeção de energia na rede, mas também na manutenção (preventiva ou pontual), limpeza, perdas na rede e incentivos fiscais.

O portal eletrônico (<http://www.portalsolar.com.br/calculo-solar>), através de uma ferramenta para estimativa de valores associados a instalação de painéis fotovoltaicos em cada região, aponta o custo médio necessário para atender uma determinada demanda mensal de energia. Nesta simulação, compara-se um sistema para geração aproximada mensal de 250kWh nas capitais dos estados da região sul do Brasil, conforme Tabela 5:

Tabela 5 – Estimativa de valor médio para instalação de SFVCR's nas capitais da região sul.

Cidade	Potência Inst. (kWp)	Preço mín. (R\$)	Preço máx. (R\$)	Área mín. (m ²)
Porto Alegre	2,18	15.054,34	18.065,20	17,42
Curitiba	2,66	16.927,28	20.312,72	21,25
Florianópolis	2,29	15.813,96	18.976,75	18,32

Fonte. <http://www.portalsolar.com.br/calculo-solar>.

Portanto, a necessidade de ferramentas acessíveis ao consumidor residencial torna-se cada vez maior, a fim de informar e estimar valores de possível geração de energia e redução do custo com energia.

3 PREMISSAS E CÁLCULOS PARA DESENVOLVIMENTO DA PLATAFORMA

3.1 DESCRIÇÃO DA FERRAMENTA UTILIZADA

Ao se levar em consideração a variedade disponível de ferramentas existentes para desenvolvimento de aplicações computacionais, torna-se interessante a escolha de um sistema *web*, onde é possível integrar diversos componentes provenientes de múltiplas fontes. Este sistema, quando voltado à usabilidade de um usuário sem conhecimento prévio, demonstra grande vantagem ao se utilizar de recursos que não estão inerentes ao processamento local do mesmo, como uma linguagem HTML (Hypertext Markup Language) que se utiliza de uma estrutura simples ao carregar estilos CSS (Cascading Style Sheets) dentro de frameworks como Bootstrap e AngularJS baseadas em JavaScript.

Um dos aspectos únicos de aplicações *web*, é que diferente de softwares tradicionais, tornam-se mais fáceis de se compreender e de se atualizar em relação a variáveis externas, impactando significativamente o processo (OFFUTT, 2002).

Segundo Jeff Offut, os critérios mais importantes inerentes a aplicações *web*, são:

- Confiabilidade
- Usabilidade
- Segurança
- Disponibilidade
- Escalabilidade
- Manutenção

A escolha de utilização do framework AngularJS para construção da aplicação se deu pela possibilidade de utilizar práticas-padrão da engenharia de software previamente aprovadas e testadas do lado do servidor, na programação do lado do usuário, garantindo confiabilidade, segurança e permitindo um processo acelerado no seu processo de desenvolvimento (SESHADRI; GREEN, 2014).

Dentre as vantagens deste framework, se encontra a característica de SPA (Single Page Application, ou Aplicação de página única) onde, segundo Seshadri e Green, evita códigos redundantes, mudando o foco do desenvolvedor para o núcleo da aplicação.

Para assegurar usabilidade e manutenção simples utilizando JavaScript, foi escolhido o framework Bootstrap. Esta solução permite uma padronização de visualização em diferentes tipos de navegadores, ao passo em que contribui para uma navegação robusta e responsiva em diferentes sistemas. Com isto, detalhes de estilo, fontes de ícones podem ser facilmente editados pelos desenvolvedores (SPURLOCK, 2013).

A ferramenta Google Charts foi utilizada para geração dos gráficos pertinentes à simulação, de forma a garantir facilidade na apresentação e leitura dos dados do relatório de consumo do usuário. Baseado em HTML, a ferramenta se utiliza de uma tecnologia de gráficos baseados em vetores, onde o usuário consegue verificar os valores de forma interativa (ZHU, 2012).

Por fim, a aplicação foi hospedada no domínio Firebase (<https://firebase.google.com>), que dispõe de uma plataforma de desenvolvimento com potencial de escalabilidade, monitoramento de performance e capacidade de integração com banco de dados, processos de autenticação, etc (FIREBASE, 2015).

A lógica de funcionamento da ferramenta é dividida em duas partes: primeiro, é disponibilizada uma introdução à usabilidade da mesma para o usuário, seguida da obtenção de valores de carga para a composição de sua tarifa ao longo do período de um ano. Já na segunda parte, se utiliza os valores de consumo para comparação com instalação de um SFVCR.

3.1.1 Análise Tarifária

3.1.1.1 Premissas adotadas

O simulador de análise tarifária tem como objetivo a comparação das faturas de energia com as diferentes tarifas, convencional e branca. O consumidor insere seus dados de cargas e suas características como potência do equipamento, quantidade, dias da semana utilizados, horários e tempo de uso, e se este consumo se repete para todos os meses ou não, e quais são eles. Deste modo, o simulador traz uma melhor análise sobre o consumo do usuário ao longo do ano.

3.1.1.2 Lista de cargas

Dentre os equipamentos elétricos mais utilizados por consumidores do grupo B, foi desenvolvida uma tabela com dados de potência mais comuns, tendo como base o Manual de Consumo Consciente de Energia elaborado pela Companhia Energética do Rio Grande do Norte (COSERN)¹ e Tabela de Consumo da Cooperativa Distribuidora

¹ Disponível em: http://www.cosern.com.br/Documents/EficienciaEnergetica/Manual_de_Consumo_Consciente_de_Energia.pdf

de Energia Fronteira Noroeste (COOPERLUZ)². Esses dados de potência servem como sugestão ao usuário, podendo ser modificado conforme necessidade.

3.1.1.3 Estrutura lógica utilizada

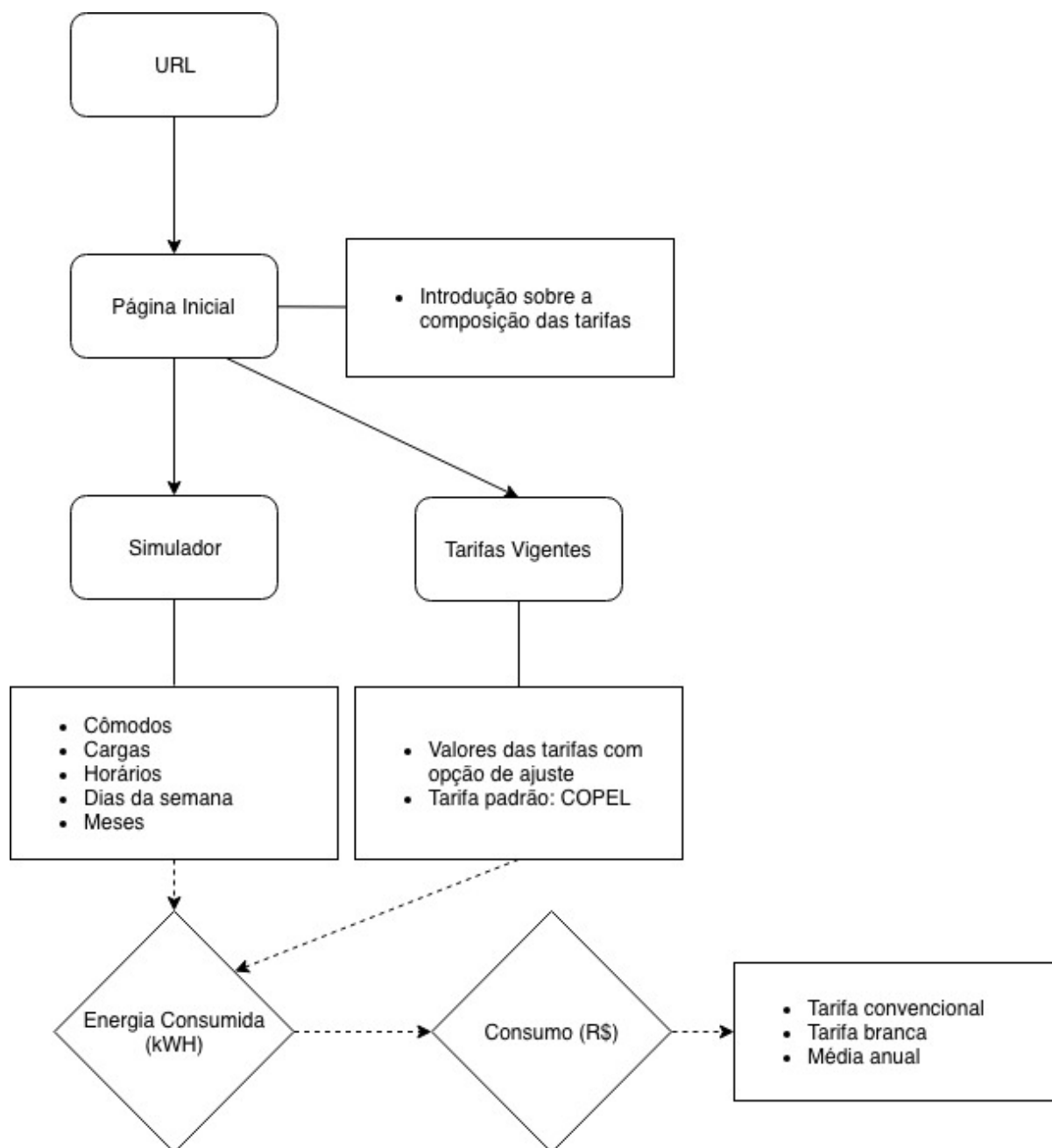
Ao acessar a página inicial, o usuário encontra um material informativo sobre o que é a tarifa branca, quais consumidores podem optar pela mudança de tarifa, como é solicitada a adesão, os intervalos de horários em que os valores se alteram e como isso influencia a composição de sua tarifa de energia elétrica entre outros dados pertinentes ao entendimento sobre o assunto. Nesta página, existem opções de acesso direto ao simulador ou alteração da tarifa vigente, caso necessário.

Caso o usuário selecione a opção “Tarifa”, o mesmo terá acesso à página atualizada com valores de tarifas padrão com impostos, conforme dados da COPEL. Este dado poderá ser modificado caso o usuário sinta a necessidade de adaptar o cálculo da simulação para qualquer outro valor.

Por fim, é disponibilizado o acesso ao simulador, onde é realizada a entrada dos dados de carga do usuário, com opções dentro de uma lista interativa contendo eletrodomésticos mais utilizados em residências, suas potências, horários de utilização, dias da semana e os meses do ano. Após adicionar todas as cargas utilizadas em sua residência, o botão “Gerar Resultados” se torna disponível para o usuário, iniciando a função responsável por calcular a energia utilizada nos períodos de tarifa convencional e de tarifa branca. Esta estrutura de usabilidade para cálculo da tarifa se dá conforme fluxograma da Figura 14.

² Disponível em: http://www.cooperluz.com.br/informacoes_ao_cooperado/tabela_de_consumo.php

Figura 14 – Fluxograma da ferramenta para cálculo do consumo.



Fonte: Autoria Própria (2018).

3.1.2 Desenvolvimento do Simulador Fotovoltaico

3.1.2.1 Premissas adotadas

O simulador fotovoltaico foi desenvolvido com o propósito de gerar ao usuário uma estimativa de economia que a instalação de um sistema fotovoltaico conectado à rede pode proporcionar nas modalidades tarifárias disponíveis.

3.1.2.2 Taxa de Desempenho e Produtividade

O resultado obtido considera que os SFVCR serão instalados em condições ideais de geração, com os módulos orientados para o norte geográfico (por estar no hemisfério sul), com a mesma inclinação da latitude do local de instalação, sem sombreamentos e para uma taxa de desempenho³ do sistema igual a 75%⁴. A produtividade representa a quantidade de energia elétrica que um SFVCR é capaz de produzir para cada 1kWp (quilowatt-pico) de potência instalada. Os dados de produtividade foram extraídos do Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná.

O Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná, foi desenvolvido por um grupo de pesquisadores da UTFPR com parceria com a Itaipu Binacional e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O trabalho consistiu no mapeamento, análise e apresentação da distribuição da radiação solar e do potencial de geração de energia elétrica por meio de sistemas fotovoltaicos no Paraná. No estudo, foram utilizados modelos para estimar a quantidade de radiação que chega ao solo, obtendo-se análises comprobatórias destas informações. O Atlas conta com dados de irradiação: difusa, global, inclinada e direta normal, validados com estações Sonda e INMET. Ao todo, foram produzidos no Atlas 174 mapas sobre irradiação solar (TIEPOLO et al., 2017).

3.1.2.3 Vida útil dos equipamentos e custo de manutenção

A vida útil estimada para os sistemas fotovoltaicos é de 25 anos (PORTAL SOLAR, 2018). Para o inversor foi considerada a vida útil de 10 anos e para sua substituição, estimou-se um custo de 16,32%. Também, adota-se a premissa de que os módulos perdem cerca de 0,65% de eficiência ao ano, durante os primeiros 20 anos, e passam a ter perdas desprezíveis nos 5 anos seguintes (EPE, 2012).

Quanto aos custos com manutenção do sistema, considerou-se que gasta-se o equivalente a 1% do valor do investimento, ao ano, para manter o sistema funcionando adequadamente (EPE, 2012). Esta premissa considera também que estes valores são reajustados na mesma taxa em que são realizados os reajustes tarifários.

3.1.2.4 Preço dos Sistemas Fotovoltaicos

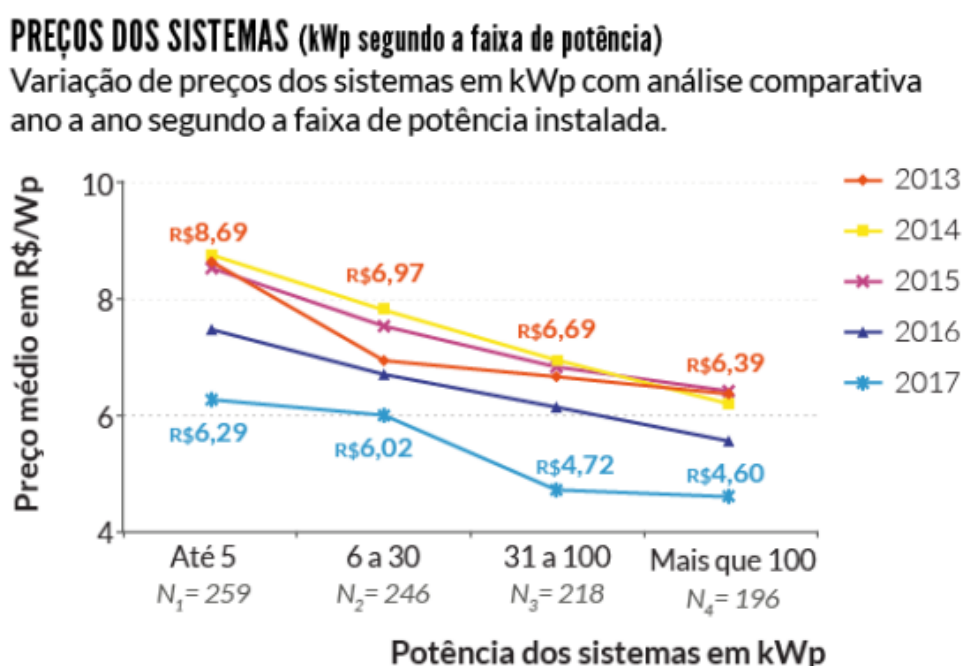
Com os dados de produtividade do Atlas e os resultados da simulação de consumo de energia é possível estimar a potência do sistema necessária para suprir a demanda energética do usuário. Para estimar o custo do sistema foi utilizada uma estimativa do Instituto Ideal (Instituto para o desenvolvimento de energias alternativas

³ A taxa de desempenho representa o percentual de energia elétrica que será disponibilizada pelo sistema no ponto de conexão com a rede, ou seja, desconsiderando as perdas existentes (TIEPOLO et al., 2017).

⁴ O valor considerado é o mesmo estabelecido no Atlas Solar do Estado do Paraná.

na América Latina). Os dados estão disponibilizados em um relatório sobre o mercado brasileiro de geração fotovoltaica. Para sistemas de até 5 kWp o custo do sistema fica em média R\$ 6,29 por kWp. Para sistemas de 6 a 30 kWp o custo fica em R\$ 6,02, para sistemas de 31 a 100 kWp em R\$ 4,72 e para sistemas acima de 100 kWp em R\$ 4,60. Os dados utilizados estão disponíveis na Figura 15 e foram obtidos por pesquisas de mercado realizadas no ano de 2017 (INSTITUTO IDEAL; AHK-RJ, 2018).

Figura 15 – Custo dos Sistemas Fotovoltaicos



Fonte: Instituto Ideal & AHK-RJ (2018).

3.1.2.5 Custo de Disponibilidade do Sistema Elétrico

Outro custo a ser considerado é o custo de disponibilidade do sistema elétrico. A Resolução Normativa ANEEL 414 de 2010 estabelece no artigo 98 uma cobrança pelo custo de disponibilidade do sistema às unidades consumidoras do grupo B. O valor cobrado varia de acordo com a conexão da unidade, sendo:

- 30 kWh para unidades com conexão monofásica ou bifásica a dois condutores;
- 50 kWh para unidades com conexão bifásica ou bifásico a três condutores; ou
- 100 kWh para unidades com conexão trifásica.

De acordo com o artigo 12 da Resolução 733/2016, mesmo na tarifa branca o custo de disponibilidade é calculado com base na tarifa convencional monômnia e

deve ser cobrado sempre que o valor do consumo medido ou estimado for inferior aos valores estabelecidos na Resolução 414 de 2010.

A informação sobre o tipo de conexão da unidade consumidora está disponível na fatura de energia da concessionária distribuidora de energia elétrica. Este valor é o mínimo que deve ser pago pelos consumidores residenciais e é multiplicado pela tarifa da concessionária e somado à taxa de iluminação pública. Ou seja, mesmo que o sistema fotovoltaico instalado gere toda a energia necessária para atender a demanda do consumidor, ele ainda terá que pagar em sua fatura o custo de disponibilidade do sistema de acordo com a sua conexão contratada e a taxa de iluminação pública. Por isso, deve-se descontar essa energia mínima cobrada no cálculo da energia que deve ser gerada pelo SFVCR (TIEPOLO, 2015).

3.1.2.6 Faturamento e Reajustes Tarifários

O faturamento de unidades consumidoras com microgeração ou minigeração distribuída ocorre segundo o disposto no artigo 7 da Resolução 482 de 2012. A legislação determina que o faturamento deve considerar a diferença entre a energia consumida e a energia injetada da rede (somada de eventuais créditos acumulados) por posto tarifário. Determina ainda que a compensação deve se dar primeiramente no posto tarifário em que ocorreu a geração e em seguida nos demais postos tarifários, observando-se a relação dos valores das tarifas de energia.

Os reajustes tarifários são obtidos por meio de cálculos complexos, que consideram além do índice de inflação, consequências de políticas governamentais, encargos, custos da distribuidora, etc. Assim, como não é possível como todos estes fatores vão influenciar na tarifa, considerou-se somente uma estimativa do índice IPCA (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo) para o reajuste tarifário.

O IPCA é um índice criado para medir a variação dos preços do mercado para o consumidor final. Este índice é calculado mensalmente pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) e é o índice oficial da inflação no Brasil. São calculadas as variações no custo de vida das famílias brasileiras. O IBGE utiliza como amostra famílias com rendimentos mensais compreendidos entre um e 40 salários mínimos residentes nas áreas urbanas e rurais de 9 regiões metropolitanas do país (IBGE, 2018).

O Boletim Focus do Banco Central do Brasil apresenta uma perspectiva para o IPCA para o fechamento de 2018 e para os anos de 2019, 2020 e 2021. Para o cálculo dos reajustes foram utilizadas estas projeções⁵ e para os anos seguintes foi obtida uma

⁵ Projeções do Relatório Focus publicado em 26 de outubro de 2018, disponível em: <https://www.bcb.gov.br/pec/GCI/PORT/readout/R20181026.pdf>

média da variação da série histórica de 1997 a 2017 e as projeções disponibilizadas pelo Focus, totalizando 25 amostras. Com isso, a variação média obtida foi de 5,82%. A tarifa utilizada como base é a tarifa vigente da COPEL desde junho de 2018.

3.1.2.7 Análise de Retorno de Investimento

Para atestar a viabilidade financeira do sistema fotovoltaico simulado são necessários métodos quantitativos de avaliação de investimentos. Para isso, define-se primeiramente a prévia da taxa de retorno exigida ou taxa de atratividade do projeto. Esta taxa seria o retorno que o investimento teria caso estivesse aplicado e é o valor mínimo que o investidor espera receber ao optar pelo sistema fotovoltaico.

A taxa mínima de atratividade (TMA) definida para a análise financeira do simulador foi a taxa Selic (Sistema Especial de Liquidação e de Custódia). A taxa Selic é a taxa média ajustada dos financiamentos diários apurados no Selic para os títulos federais, ou seja, é a remuneração das instituições financeiras nas operações com títulos públicos. A taxa Selic foi escolhida, pois está atrelada a investimentos de renda fixa assegurados e com liquidez diária.

Para a análise do tempo de retorno do investimento o simulador utiliza o payback descontado ou Período de Retorno do Investimento Descontado (PRID), método que considera o valor do dinheiro no tempo. Assim, período de “payback descontado” é o tempo de recuperação do investimento à taxa de juros escolhida, que no caso do simulador é taxa Selic.

3.1.2.8 Estrutura da lógica utilizada

O simulador é alimentado com algumas saídas das estimativas geradas de consumo e do cálculo tarifário e também com dados que o usuário preenche ao desejar obter uma simulação de sistema fotovoltaico. Deste modo, os *inputs* do simulador fotovoltaico são:

- Média mensal de consumo em kWh (saída do simulador tarifário);
- Custo da fatura na tarifa convencional (saída do simulador tarifário);
- Cidade em que se situa a unidade consumidora (nova entrada de dado);
- Tipo de conexão com a rede (nova entrada de dado);

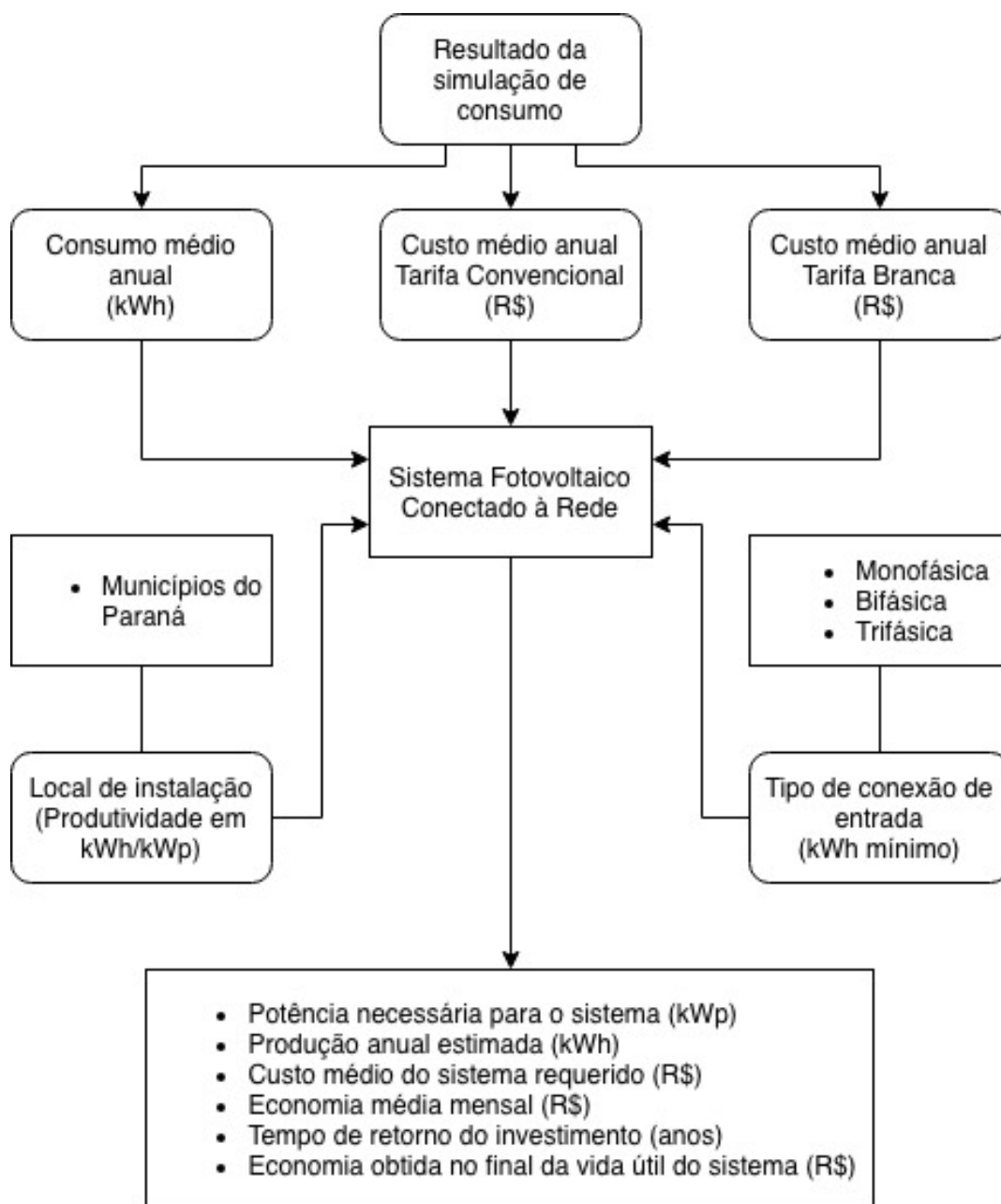
Com estes dados as saídas geradas pelo simulador são:

- Potência necessária para o sistema;

- Produção anual estimada;
- Custo médio do sistema requerido;
- Economia média mensal;
- Tempo de retorno do investimento;
- Economia obtida no final da vida útil do sistema.

Para isso, a estrutura de usabilidade para cálculo das saídas se dá conforme fluxograma da Figura 16 e todas as premissas adotadas estão incorporadas na lógica utilizada.

Figura 16 – Fluxograma da Ferramenta para Cálculo do Sistema Fotovoltaico



Fonte: Autoria Própria (2018).

4 RESULTADOS

Aplicada a teoria resultante das revisões bibliográficas, premissas e cálculos desenvolvidos, se obteve como resultado a aplicação web em funcionamento. Sua tela inicial é estruturada com um menu superior de acesso rápido às principais páginas, seguida por uma estrutura de conteúdo informativo sobre a tarifa de energia elétrica residencial conforme Figura 17. Este conteúdo tem como objetivo informar o usuário da aplicação sobre a nova opção de tarifa disponível.

Figura 17 – Tela Inicial da Ferramenta.



Fonte: Autoria própria (2018).

Ainda na página inicial, é mostrado ao usuário informações sobre quem pode optar pela mudança de tarifa e uma breve explicação sobre quem se enquadra no grupo de consumidores B. Também se encontra disponibilizado informações sobre como solicitar a adesão conforme Figura 18.

Figura 18 – Informações sobre adesão à tarifa branca.

Podem optar pela tarifa branca todos as unidades consumidoras do grupo B, que são tem o fornecimento de energia em baixa tensão, isto é, residências, lojas, edifícios residenciais, entre outros. Não poderão fazer a adesão exceto as unidades consumidoras do grupo B que são da subclasse baixa renda da classe residencial, da classe iluminação pública e aquelas com faturamento pela modalidade de pré-pagamento.

Todos podem optar pela mudança?

Como faço para fazer a adesão?

As solicitações de migração devem ser atendidas pela distribuidora em até trinta dias para unidades consumidoras já atendidas ou atender os prazos e procedimentos para vistoria e ligação dispostos na Resolução Normativa nº 414, de 2010, no caso de novas solicitações de fornecimento. O consumidor pode solicitar, em qualquer momento, o regresso à modalidade tarifária convencional e essa alteração deve ser providenciada em até trinta dias. Após o retorno, uma nova adesão à tarifa branca só poderá ocorrer após 180 dias ou a critério da distribuidora, em prazo inferior.

Fonte: Autoria própria (2018).

O conteúdo informativo da tela inicial se estende com informações sobre a faixa de horários da tarifa branca, assim como o ênfase à inexistência de relação entre alterações de valores das bandeiras tarifárias disposto como na Figura 19.

Figura 19 – Informações sobre funcionamento.

Antes, só existia a Tarifa Convencional que cobrava o mesmo valor de tarifa, independente dos horários. A Tarifa Branca possui 3 períodos com diferentes valores: Ponta, das 18h00 às 21h00, Intermediário, das 17h00 às 18h00 e 21h00 às 22h00, Fora de Ponta, 22h00 às 17h00.

A faixa de horário Ponta é o horário com maior demanda de energia e por isso tem o valor mais caro. o Intermediário é um pouco mais baixo em relação a Ponta porém, acima da Convencional. O Fora Ponta é o mais barato.

Como funciona?

Tem alguma relação com Bandeiras Tarifárias?

Não, as Bandeiras Tarifárias são uma forma de sinalizar ao consumidor que as condições hidrológicas para geração de energia não são favoráveis (falta de chuva, seca) e deste modo é necessário acionar as Termelétricas que possuem um custo maior de geração. E esse custo é repassado na fatura de energia como um adicional.

Todo mês a ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica divulga qual bandeira estará vigente.

Quando é sinalizado bandeira Verde quer dizer que não foi necessário fazer uso das Termelétricas e que as condições de geração são boas. Na Bandeira Amarela, as condições são pouco favoráveis e é cobrado para cada 100kWh de consumo de energia R\$1,00. Quando está na Bandeira Vermelha, é o pior caso e existem 2 patamares. Patamar 1 - a cada 100kWh é cobrado R\$3,00 e no Patamar 2 - R\$5,00. Esses valores estão sem os impostos.

Fonte: Autoria própria (2018).

Em seguida, é apresentada a importância da análise econômica para a mudança

para tarifa branca em conjunto com o conteúdo oferecido pela ferramenta desenvolvida: simulador de consumo, análise de investimento e simulador fotovoltaico. Um botão “Começar” leva o usuário para a primeira etapa do simulador de consumo, conforme Figura 20.

Figura 20 – Informações sobre análise econômica e recursos oferecidos.

Como posso economizar trocando para a Tarifa Branca?

A Tarifa Branca é baseada no seu consumo ao longo do dia. Portanto, se você tem o perfil de consumo nos horários Fora de Ponta ou Intermidiário sua conta pode baixar significativamente.

Como saber se isso é verdade? Você precisa conhecer como é seu consumo e fazer uma análise e pra isso nós vamos te ajudar!

O que te oferecemos?

- Simulador de Consumo**
Insira seus dados de consumo, quais equipamentos você utiliza e em quais horários e se esse consumo se repete para todos os meses. Com isso será gerado uma análise para que você veja sua fatura de energia com as 2 opções de tarifa.
- Análise de Investimento**
Se o seu resultado foi positivo, isto é, a Tarifa Branca te devolve uma fatura menor, veja a possibilidade de investir a economia que você teria trocando da Convencional para a Branca.
- Simulador Fotovoltaico**
Temos um adicional! Com o consumo médio de energia calculado no Simulador de Consumo, veja como fica o cenário para instalação de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede com a Tarifa Convencional e Branca.

Clique em Começar e simule seu Consumo de Energia

Começar

Fonte: Autoria própria (2018).

Ao acessar a página do simulador de tarifas, o usuário encontra informações sobre como funciona a ferramenta e quais dados são necessários para realizar a simulação, como mostra a Figura 21.

Figura 21 – Página do simulador de consumo



Autoria própria (2018)

Na tela de simulação (Figura 22) é possível adicionar as cargas utilizadas na residência do consumidor, sendo possível escolher dentro de uma gama de eletrodomésticos mais comuns ao consumidor residencial. Esta lista de cargas fornecida apresenta uma potência média de acordo com Manual de Consumo Consciente de Energia elaborado pela Companhia Energética do Rio Grande do Norte (COSERN).

Para os casos onde a potência oferecida não se adequa, é possível modificar o campo de potência em Watts para o valor correto do equipamento. Em casos onde a carga não se enquadra à lista de equipamentos, o usuário pode optar pela escolha “Outros” no menu e fornecer a respectiva potência do item.

Ao selecionar a quantidade de itens, são disponibilizadas as opções de horário de uso, divididas em intervalos fora-ponta, ponta intermediário ou a opção de uso contínuo ao longo do dia. Após adicionar os itens desejados, o usuário terá acesso ao mesmo em formato de lista, onde se apresenta o nome do eletrodoméstico, sua potência, quantidade, horário de uso, energia calculada e uma opção interativa de um botão com a opção de remoção do mesmo. De forma simples, um botão com a opção “Gerar Resultados” realiza o cálculo total da fatura.

Figura 22 – Layout do Simulador



Vamos começar!

Clique nos cômodos.

Cozinha Sala de Jantar Sala de Estar Banheiro Quarto Lavanderia Outros

Lista de Eletrodomésticos

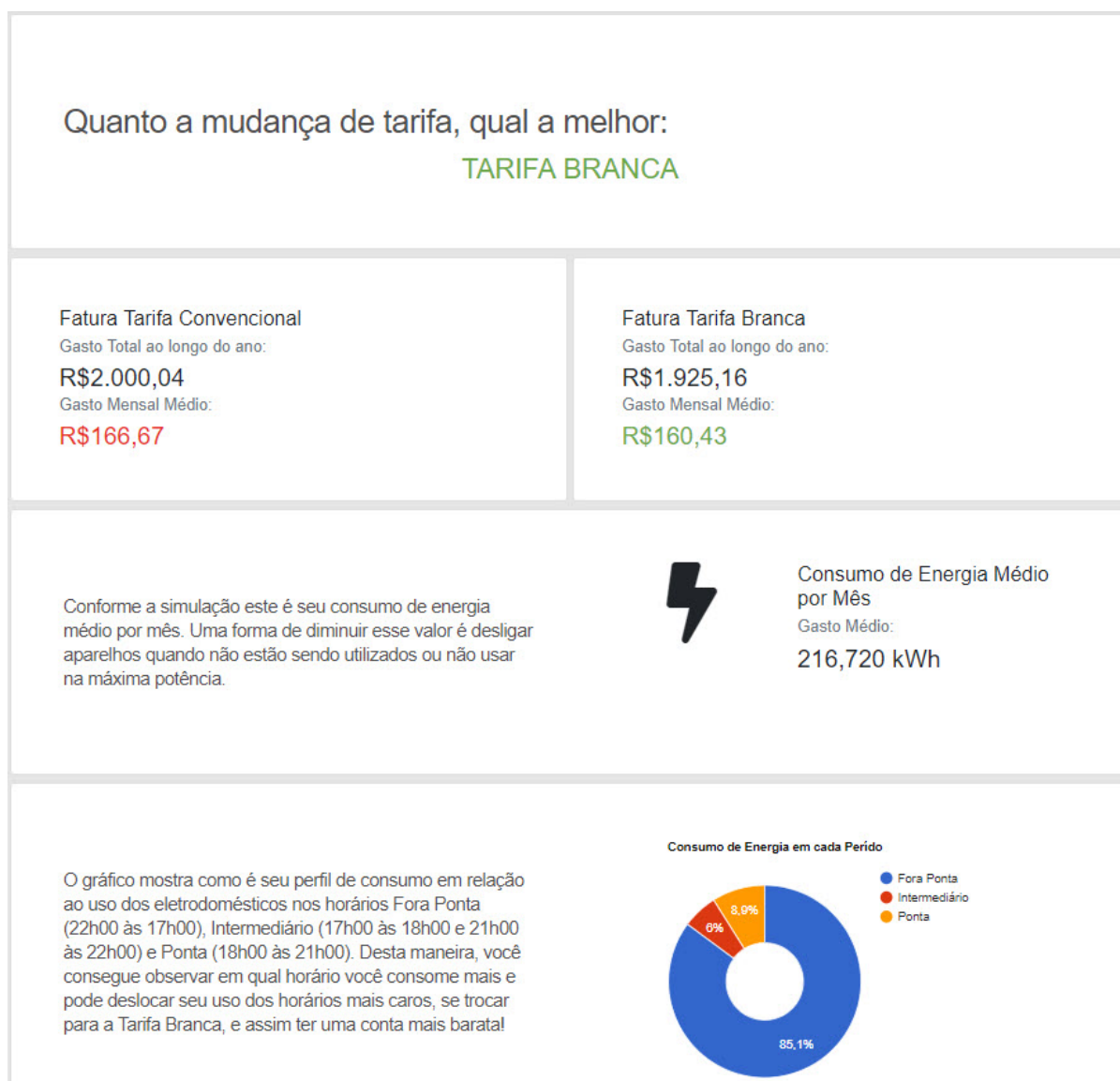
Cômodos	Eletrodoméstico	Potência	Quantidade	Horario de Uso	Tempo de Uso	Consumo Diário	Editar/Deletar
Cozinha	Geladeira	300W	1	• Dia inteiro	• 24h	• 7,2 kWh	 

Gerar Resultados

Fonte: Autoria própria (2018).

Após o processamento dos dados, o usuário recebe indicações sobre a viabilidade das tarifas, o consumo médio de energia por mês, a simulação de seus gastos baseados na tarifa convencional e branca. Um gráfico apresenta o percentual de energia utilizada em sua residência nos intervalos de horários onde a tarifa branca difere: horário de ponta, intermediário e fora ponta, conforme a Figura 23.

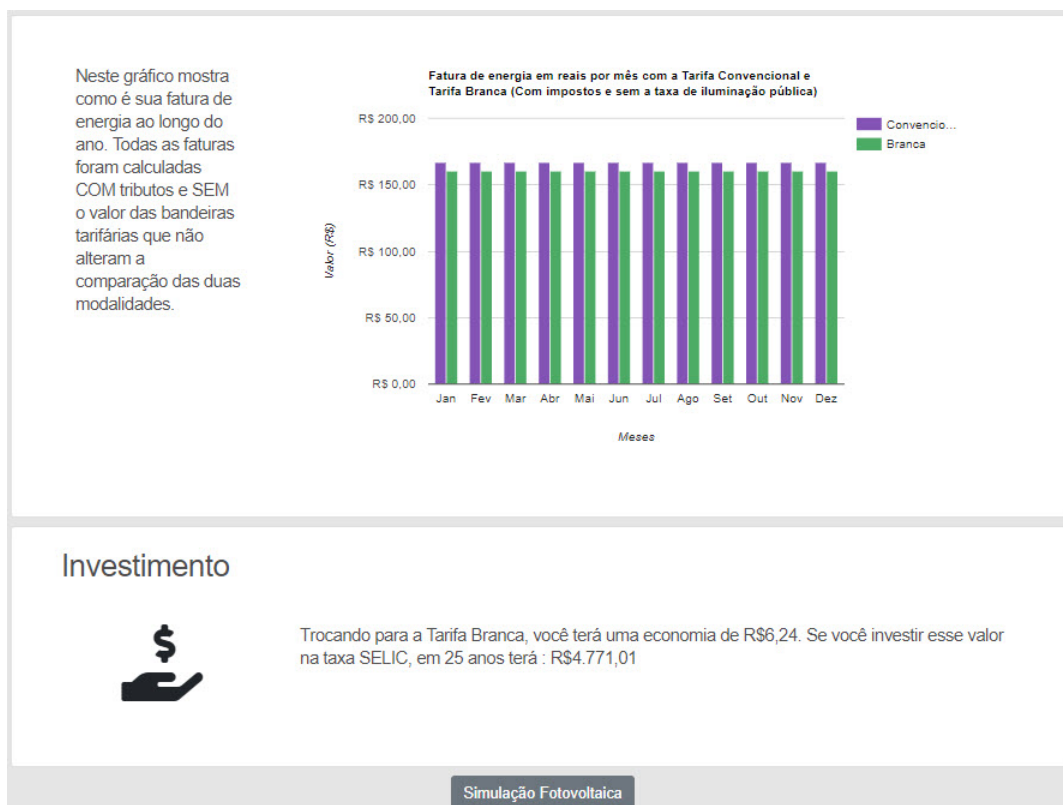
Figura 23 – Resultados comparativos do simulador.



Fonte: Autoria própria (2018).

Dentro da fase de resultados é fornecido o gráfico de fatura de energia em reais por mês ao longo do ano, tanto para tarifa convencional quanto branca. Um indicador apresenta um possível retorno de investimento, baseado na taxa Selic, e na economia obtida ao longo de um ano, nos casos em que a tarifa branca é mais vantajosa (Figura 24). Em seguida, um botão de “Simulação Fotovoltaica” dirige o usuário à uma janela para obtenção de dados relacionados a instalação de um SFVCR.

Figura 24 – Fatura de energia simulada e resultado de possível investimento.



Fonte: Autoria própria (2018).

Dentro da janela de Simulação de Sistema Fotovoltaico, o usuário precisa fornecer sua cidade para que a ferramenta se relacione aos respectivos dados de produtividade e também ao tipo de conexão com a rede de sua casa, fornecendo assim, os dados suficientes para os resultados de viabilidade conforme premissas deste trabalho. Também é disponibilizado um *link* de exemplo de tarifa para auxiliar na obtenção da informação do tipo de conexão, conforme a Figura 25.

Figura 25 – Dados para a simulação do sistema fotovoltaico.

Simulação Sistema Fotovoltaico X

Insira alguns dados e veja se é viável a instalação de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede com as diferentes tarifas disponíveis.

Selecione sua Cidade

Curitiba

Verifique em sua conta de luz qual o tipo de conexão com a rede da sua casa. Na fatura da Copel, está localizado na seção "Informações Técnicas" ao lado do nº do Medidor.

[Exemplo de uma Fatura da Copel](#)

Bifásica

Simular

Fonte: Autoria própria (2018).

Após acesso ao botão “Simular”, é apresentado ao usuário uma caixa de texto com informações sobre a viabilidade de instalação de um SFVCR e dados como: município, irradiação média mensal, tipo de conexão, consumo médio, potência do sistema e custo. Como resultado, a ferramenta retorna a avaliação do melhor cenário para o sistema, seja em conjunto com adesão da tarifa convencional ou branca. Também são fornecidos nesta avaliação tempo e valor de retorno, economia anual e mensal e a estimativa de retorno total para o valor médio da vida útil de um SFVCR, como mostra a Figura 26.

Figura 26 – Viabilidade de instalação do SFVCR.

Viabilidade de Instalação de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede

📍 Município: Curitiba	☀️ Irradiação Média Mensal: 134,0 kWh/m ² .mês	🔌 Conexão de energia: Bifásica
⚡ Seu consumo de energia: 216,720 kWh	🏠 Potência do Sist. Fotovoltaico: 2 kWp	💰 Custo do Sist. Fotovoltaico: R\$12.580,00

Para o seu consumo de energia será necessário fazer a instalação de um sistema com uma potência de 2 kWp e terá um custo de implantação no valor de R\$12.580,00

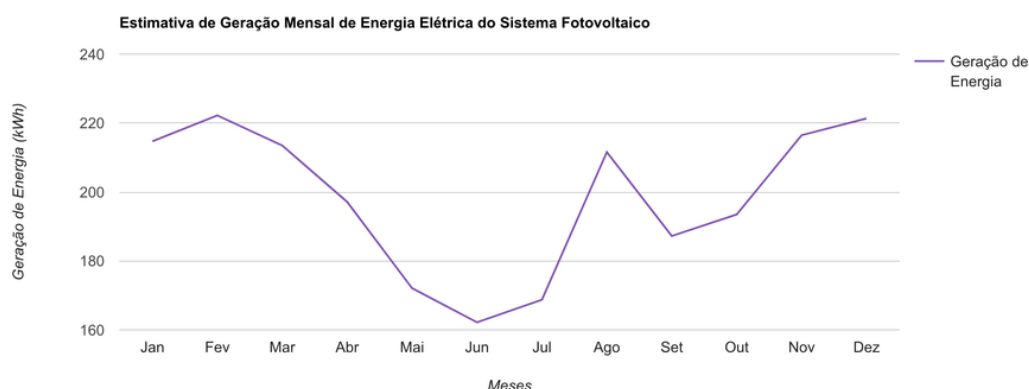
Em média, os sistemas tem uma vida útil de 25 anos, portanto, considerando a manutenção e troca do Inversor a despesa total com a instalação em 25 anos será de R\$17.800,70

Melhor cenário de instalação de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede é com a **Tarifa Convencional**, onde o tempo de retorno é menor.

Sistema Fotovoltaico com Tarifa Convencional	Sistema Fotovoltaico com Tarifa Branca
Tempo de retorno(Payback) : 10 anos	Tempo de retorno(Payback) : 11 anos
Valor do Retorno: R\$1.886,61	Valor do Retorno: R\$289,12
Economia Anual: R\$1.538,66	Economia Anual: R\$1.330,54
Economia Mensal: R\$128,22	Economia Mensal: R\$110,88
Retorno Total em 25 anos: R\$85.800,37	Retorno Total em 25 anos: R\$64.342,06

Fonte: Autoria própria (2018).

Para uma fácil visualização da estimativa mensal do sistema fotovoltaico, é disponibilizado um gráfico da energia gerada em cada mês de acordo com a irradiação média mensal de cada região, conforme a Figura 27.

Figura 27 – Estimativa de geração mensal de energia elétrica do SFVCR.

Fonte: Autoria própria (2018).

Por fim, como resultado, é apresentado um texto complementar sobre informações fundamentais da simulação e métodos de cálculo adotados pela ferramenta com embasamento técnico em estudos prévios na área de energia solar no estado do Paraná. Um botão “Gerar PDF” é disponibilizado para que o usuário realize a impressão ou crie um arquivo em formato *Portable Document Format* (PDF) desses resultados, como apresentado na Figura 28.

Figura 28 – Texto complementar dos resultados de simulação.

Nesta ferramenta foi utilizado o valor da irradiação média no plano inclinado na latitude de cada um dos 399 municípios do Estado do Paraná, obtidas do Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná – 1a Edição.

Segundo Tiepolo et al. (2017), a principal aplicação da irradiação no plano inclinado na latitude são em projetos de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica de Energia - SFVCR em que os painéis serão instalados nas condições ideais de geração de energia elétrica, ou seja: instalados com orientação para o Norte geográfico (por estarem no hemisfério Sul), com inclinação igual à latitude do local e sem sombreamento.

Para o cálculo da Potência do SFVCR que o consumidor necessita, foram considerados os seguintes parâmetros:

- Consumo médio de energia elétrica;
- Tipo de conexão com a rede (encontrado na fatura de energia elétrica);
- SFVCR instalado nas condições ideais de geração de energia;
- Taxa de Desempenho de 75%.

A taxa de desempenho representa o percentual de energia elétrica que efetivamente é disponibilizada pelo SFVCR no ponto de conexão com a rede elétrica, excluindo-se as perdas existentes. Estas perdas podem ser oriundas de: índice de sujidade sobre o painel fotovoltaico; temperatura no painel; descasamento das características elétricas entre os módulos; perdas ôhmicas em cabos e conectores, tanto no lado de corrente contínua como de corrente alternada; eficiência do inversor; sombreamento parcial; desligamentos da rede elétrica, entre outros (TIEPOLO et al., 2017).

Segundo Tiepolo et al. (2017), projetos de SFVCR dimensionados corretamente, utilizando equipamentos de boa qualidade e certificados, podem obter taxas de desempenho com valores próximos a 80% e, em alguns casos, até superiores.

[Voltar](#) [Gerar PDF](#)

Fonte: Autoria própria (2018).

5 CONCLUSÃO

A ferramenta proposta apresenta relevância significativa em um cenário com tendência de participação cada vez maior do consumidor no mercado de energia. Nota-se um mercado que converge para oferecer uma gama cada vez maior de possibilidades ao consumidor, que perde a postura passiva de somente pagar sua fatura de energia.

Mas para tomar decisões assertivas o consumidor necessita de embasamento. Assim, destaca-se a relevância de iniciativas que visem fornecer uma solução e também explicar, de forma acessível, a lógica existente na análise das alternativas disponíveis.

Outro ponto de destaque é a perspectiva de retorno financeiro fornecida pelas simulações, onde o usuário pode constatar que com uma mudança simples de hábitos de consumo de energia ele pode gerar economia. Ou então, perceber que o investimento em um sistema fotovoltaico, além de gerar energia renovável, pode ser mais rentável que seu investimento em renda fixa.

Assim, conclui-se que os objetivos propostos foram atingidos, já que a ferramenta foi desenvolvida com sucesso e gera o resultado proposto. Inserindo informações sobre seu consumo de energia o usuário recebe uma análise sobre possibilidades tarifárias e de investimentos em sistemas fotovoltaicos.

Cabe-se ressaltar que a tarifa branca não é a melhor modalidade tarifária para unidades consumidoras com sistemas fotovoltaicos instalados. Como a geração solar acontece justamente no período onde a tarifa branca apresenta seu menor valor, o usuário acaba tendo uma economia menor ao ter que pagar a diferença tarifária sob seu consumo nos horários de custo mais elevado.

Ainda, as estimativas fornecidas para o sistema fotovoltaico são geradas a partir de diversas premissas pré definidas, podendo elas serem, ou não, as mesmas condições encontradas pelo usuário em sua residência. Assim, não deve-se excluir um estudo detalhado de viabilidade, realizado por profissionais devidamente capacitados, ao optar-se por esse investimento.

A partir disso, para estudos futuros sugere-se que sejam abordados os seguintes aspectos:

- Desenvolver a simulação para sistemas híbridos, com banco de baterias, onde existe a possibilidade de alimentar a unidade consumidora com a energia armazenada nos horários de tarifa mais cara. Assim, pode-se analisar novamente a viabilidade econômica da geração fotovoltaica na tarifa branca;

- Aprimorar os aspectos de análise técnica relacionados aos sistemas fotovoltaicos, possibilitando que o usuário também possa inserir o posicionamento do seu telhado, inclinação e área disponíveis, presença de obstáculos, etc;
- Abordar também uma análise relacionada à sustentabilidade, como redução das emissões dióxido de carbono na atmosfera¹ e quantidade de árvores necessárias para neutralizar essa quantidade de carbono.

¹ Quando comparada à geração por térmicas fósseis.

REFERÊNCIAS

ABSOLAR. **BRASIL ATINGE 250 MW EM GERAÇÃO SOLAR DISTRIBUÍDA.**

2018. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/brasil-atinge-250-mw-em-geracao-solar-distribuida.html>>.

ACKERMANN, T.; ANDERSSON, G.; SÖDER, L. Distributed generation: a definition. **Electric power systems research**, 2001.

ANEEL. Por dentro da Conta de Luz: informação de utilidade pública. **Por dentro da Conta de Luz: informação de utilidade pública**, Brasília, 2008.

Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656835/16505063/2008_PorDentroContaLuzCopel.pdf/6bc85f6b-473b-38f0-e48d-fa2d09838f7f>. Acesso em: 12/03/2018.

ANEEL. RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 414, DE 9 DE SETEMBRO DE 2010.

Brasília, 2010. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14486448/bren2010414.pdf/3bd33297-26f9-4ddf-94c3-f01d76d6f14a?Version=1.0>>. Acesso em: 12/03/2018.

ANEEL. **Bandeiras Tarifárias.** 2015. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/bandeiras-tarifarias>>. Acesso em: 10/10/2017.

ANEEL. **Entendendo a Tarifa.** 2015. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/entendendo-a-tarifa/-/asset_publisher/uQ5pCGhnyj0y/content/composicao-da-tarifa/654800?inheritRedirect=false&redirect=http://www.aneel.gov.br/entendendo-a-tarifa?p_p_id=101_INSTANCE_uQ5pCGhnyj0y&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2>. Acesso em: 12/03/2018.

ANEEL. **Tarifa Branca.** 2017. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/tarifa-branca>>. Acesso em: 10/10/2017.

ANEEL. **BIG - Banco de Informações de Geração.** 2018. Disponível em:

<<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 10/10/2018.

BRASIL. DECRETO Nº 5.163, DE 30 DE JULHO DE 2004. **Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências.**, 2004.

CCEE. **Setor Elétrico.** 2018. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/setor_eletrico?_adf.ctrl-state=12zqwnjpui_18&_afrLoop=390053274459594#!>>

Empresa de Pesquisa Energética - EPE. **Balanco Energético Nacional 2018.** Rio de Janeiro, 2018.

EPE. **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira.** Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <http://www.cogen.com.br/content/upload/1/documentos/Solar/Solar_COGEN/NT_EnergiaSolar_2012.pdf>. Acesso em: 01/11/2018.

- EPE, E. de P. E. . **Balço Energético Nacional**: Relatório síntese. [S.l.], 2017.
- FARUQUI, A. et al. The Power of Dynamic Pricing. **The Electricity Journal**, v. 22, 2009.
- FIREBASE. **Features - Firebase**. 2015. (tradução nossa) - Acesso em: 18 out 2015. Disponível em: <<https://www.firebase.com/features.html>>.
- GELLINGS, C. W. The Smart Grid: Enabling Energy Efficiency and Demand Response. **The Fairmont Press, Taylor & Francis Group**, 2009.
- GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento**. [S.l.]: Editora da Universidade de São Paulo, 2008.
- IBGE. **Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo - IPCA**. 2018. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/precos-e-custos/9256-indice-nacional-de-precos-ao-consumidor-amplo.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em: 02/11/2018.
- INSTITUTO IDEAL; AHK-RJ. **O Mercado Brasileiro de Geração Distribuída Fotovoltaica**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <http://institutoideal.org/wp-content/uploads/2018/04/flyerFV_2018_baixa.pdf>. Acesso em: 29/10/2018.
- OFFUTT, J. Quality attributes of Web software applications. 2002.
- ONS. **O que é o SIN**. 2018. Disponível em: <<http://ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>>. Acesso em: 12/03/2018.
- PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. 2014. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>.
- PORTAL SOLAR. **Quanto em tempo duram os painéis solares?** 2018. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/painel-solar/quanto-tempo-duram-os-paineis-solares-.html>>. Acesso em: 20/10/2018.
- PROCEL. **Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil. Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de uso - Ano Base 2015 - Classe Residencial**. Rio de Janeiro, 2007.
- PROCEL. **Manual de Tarifação da Energia Elétrica**. 2011. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/ManualdeTarifEnEl-Procel_EPP-Agosto-2011.pdf>. Acesso em: 10/06/2018.
- SANTOS, T. A. de A. U.; LOTUFO, A. D. P. U. **Determinação de perfil de curva de carga residencial baseado num sistema-fuzzy**. 2016. Tese (Doutorado). Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/143424>>.
- SESHADRI, S.; GREEN, B. **AngularJS Up & Running**. [S.l.: s.n.], 2014.
- SPURLOCK, J. **Bootstrap**: Responsive web development. [S.l.]: O'Reilly Media, Inc., 2013.

TIEPOLO, G. M. **Estudo do potencial de geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no estado do Paraná**. 2015. 228 p. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas) — Escola Politécnica da Pontifícia Universidade Católica do Paraná.

TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, E. B.; URBANETZ JR, J.; PEREIRA, S. V.; GONCALVES, A. R.; LIMA, F. J. L.; COSTA, R. S., ALVES, A. R. **Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná**. Curitiba, 2017. Disponível em: <<http://www.atlassolarparana.com/>>. Acesso em: 13/04/2018.

TOLMASQUIM, M. **Novo modelo do setor elétrico brasileiro**. 2^a. ed. [S.l.]: Synergia, 2015.

URBANETZ JR., J. **Sistemas Fotovoltaicos conectados a redes de distribuição urbana: sua influência na qualidade da energia elétrica e análise de parâmetros que possam afetar a conectividade**. 2010. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) — Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/94284>>.

ZHU, Y. Introducing Google Chart Tools and Google Maps API in Data Visualization Courses. **IEEE Computer Graphics and Applications**, v. 32, n. 6, p. 6 – 9, 2012. Disponível em: <<http://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/MCG.2012.114>>.

APÊNDICES

A lista de itens sugeridas pelo simulador foi desenvolvida a partir de tabelas de consumo da Cooperativa Distribuidora de Energia Fronteira Noroeste (COOPERLUZ) e Manual de consumo consciente de energia da Companhia Energética do Rio Grande do Norte (COSERN).

Tabela 6 – Lista de cargas sugeridas para o simulador.

Item	Potência (Watts)
Aparelho de som	200
Ar Condicionado (7000 BTU/h)	900
Ar Condicionado (10000 BTU/h)	1400
Ar Condicionado (12000 BTU/h)	1600
Ar Condicionado (18000 BTU/h)	2600
Ar Condicionado (21000 BTU/h)	2800
Ar Condicionado (30000 BTU/h)	3600
Aquecedor de ambiente	1500
Aspirador de pó	1000
Aquecedor central de água	8000
Balcão frigorífico	900
Batedeira	450
Cafeteira	725
Computador	350
Condicionador de ar	1600
Chuveiro elétrico	5000
Enceradeira	350

Item	Potência (Watts)
Exaustor	300
Ferro elétrico	1000
Forno elétrico	5000
Forno de microondas	1300
Freezer	150
Fritadeira	1200
Geladeira	300
Grill	1200
Impressora jato de tinta	50
Impressora laser	400
Lâmpada fluorescente compacta 40W	40
Lâmpada fluorescente compacta 60W	60
Lâmpada fluorescente compacta 100W	100
Liquidificador	400
Máquina de lavar louça	2700
Máquina de lavar roupa	1500
Motor 3 cv	2200
Motor 4 cv	2960
Motor 5 cv	3700
Motor 7,5 cv	5500
Secador de cabelo	1300
Secadora de roupa	3500
Televisor LCD 32"	70

Item	Potência (Watts)
Televisor LCD 40"	80
Televisor LCD 42"	100
Torneira elétrica	3500
Ventilador	100

Elaboração própria com dados fornecidos pela COSERN e COOPERLUZ.