

**FÁBIO HIDEKI SAITO  
TIAGO YUKIO FUJII**

**MONITORAMENTO DO CONSUMO DE  
ENERGIA ELÉTRICA EM RESIDÊNCIAS  
CONECTADAS**

São Paulo  
2019



**FÁBIO HIDEKI SAITO  
TIAGO YUKIO FUJII**

**MONITORAMENTO DO CONSUMO DE  
ENERGIA ELÉTRICA EM RESIDÊNCIAS  
CONECTADAS**

Trabalho apresentado à Escola Politécnica  
da Universidade de São Paulo para ob-  
tenção do Título de Engenheiro Eletricista  
com ênfase em Computação.

São Paulo  
2019



**FÁBIO HIDEKI SAITO  
TIAGO YUKIO FUJII**

**MONITORAMENTO DO CONSUMO DE  
ENERGIA ELÉTRICA EM RESIDÊNCIAS  
CONECTADAS**

Trabalho apresentado à Escola Politécnica  
da Universidade de São Paulo para ob-  
tenção do Título de Engenheiro Eletricista  
com ênfase em Computação.

Área de Concentração:  
Engenharia de Computação

Orientador:  
Prof. Dr. Reginaldo Arakaki

Co-orientador:  
Eng. Victor Takashi Hayashi

São Paulo  
2019



---

Prof. Dr. Reginaldo Arakaki





# RESUMO

A conscientização quanto ao consumo de recursos energéticos vem aumentando a cada ano. Tal preocupação criou uma demanda por soluções para reduzir os desperdícios e aumentar a eficiência no uso da energia. Uma alternativa que está sendo explorada atualmente é o conceito de Casas Inteligentes, que podem gerenciar de forma mais eficiente o consumo (energia elétrica, gás, água, entre outros) da residência. Este projeto visa expandir o conceito de Casas Inteligentes, dando a elas a capacidade de disponibilizar previsões de gastos futuros e conscientizar as pessoas por meio de recomendações baseadas na análise da residência e assim reduzir o consumo de energia. A casa inteligente pode conscientizar as pessoas de forma gamificada, ao sugerir e realizar na prática pequenas ações cotidianas suportadas por dados estatísticos e algoritmos de predição, mostrando sua eficácia em termos financeiros, ecológicos e sociais. Adicionalmente, empresas de geração e distribuição de energia podem usar os dados em escala e algoritmos de predição para otimizar a rede; informações agregadas podem direcionar o poder público para estratégias de conscientização energética e evolução da rede. O canal de voz integrado aos smart speakers presentes nas casas do futuro pode ser usado para oferecimento de produtos e serviços, desde planos financiados de projetos de painéis solares até gerenciamento de compra e venda de energia no contexto de cogeração. O sistema de voz tem por objetivo proporcionar uma experiência lúdica e agradável ao usuário final. Neste trabalho foram realizadas pesquisas de aceitação do produto, de modo a verificar a viabilidade e analisar as partes interessadas no projeto. Também foram implementadas interfaces conversacionais disponíveis nas plataformas Facebook Messenger, Google Assistant, LINE, e Telegram, bibliotecas para visualização e predição do consumo energético, e aplicações clientes para Smart TVs integradas às interfaces conversacionais para visualização detalhada das consultas realizadas.

**Palavras-Chave** – Casas Inteligentes, Medidores Inteligentes, Predição de Consumo, Redes Inteligentes, Análise de Dados, Monitoramento de Consumo Não-Intrusivo, Sistema de Recomendação.



# ABSTRACT

Energy awareness is increasing every year. Such concerns have created a demand for solutions to reduce energy usage waste and increase efficiency. An alternative being currently explored is the concept of Smart Homes, which can manage more efficiently the household's electricity, gas, and water consumption. This project aims to expand the concept of Smart Homes, giving them the ability to make future consumption forecasts and help increase awareness through recommendations based on residence analysis and thus reduce energy consumption. The smart home can make people aware in small ways by suggesting and carrying out small daily actions supported by statistical data and forecast algorithms, showing their effectiveness in financial, ecological and social terms. In addition, power generation and distribution companies can utilize usage data and prediction algorithms to optimize the grid; aggregate information can direct public power to energy awareness and grid evolution strategies. The voice channel integrated with the smart speakers available in the homes of the future can be used to offer products and services, from financial plans for solar panel projects to management of buying and sale of energy in the context of cogeneration. The voice system aims to provide an entertaining and enjoyable experience to the end user. In this undergraduate thesis, product acceptance surveys were conducted to verify the feasibility and analyze the project stakeholders. Conversational interfaces were implemented and are available on Facebook Messenger, Google Assistant, LINE, and Telegram platforms, as well as libraries for visualization and forecast of energy consumption, and smart TV client applications integrated with the conversational interfaces for detailed visualization of queries made.

**Keywords** – Smart Homes, Smart Meters, Load Forecasting, Smart Grids, Data Analysis, Non-Intrusive Load Monitoring, Recommendation Systems.



## LISTA DE FIGURAS

1	Relação entre as diferentes áreas estudadas . . . . .	23
2	Arquitetura do projeto Hedwig . . . . .	31
3	Estrutura analítica do projeto . . . . .	34
4	Faixa etária dos entrevistados . . . . .	38
5	Questões sobre a viabilidade do projeto . . . . .	38
6	Preferência de visualização dos dados . . . . .	39
7	Preferência de plataforma da interface . . . . .	40
8	Preferência de meio de resposta do sistema . . . . .	41
9	Arquitetura do sistema em alto nível . . . . .	44
10	Tela do aplicativo LINE integrado ao Dialogflow . . . . .	46
11	Diagrama de sequência da interação com o usuário pelo Google Assistant .	48
12	Gráfico de barras gerado pela consulta do consumo energético . . . . .	49
13	Gráfico de barras gerado pela consulta do consumo energético por aparelho	50
14	Gráfico de barras gerado pela consulta da predição de consumo no mês de novembro . . . . .	51
15	Tela Página Web . . . . .	53
16	Arquitetura Página Web . . . . .	54
17	Tela da interface no aplicativo Google Assistant . . . . .	78
18	Tela da interface na página web Facebook Messenger . . . . .	79
19	Tela da interface no aplicativo LINE . . . . .	80
20	Tela da interface no aplicativo Telegram . . . . .	81



# LISTA DE TABELAS

1	Comparação entre os data sets REDD e Smart* . . . . .	35
2	Erro relativo entre modelo ARIMA e consumo real . . . . .	58





# LISTA DE SÍMBOLOS

AIC	<i>Akaike Information Criterion</i>
ARIMA	<i>Autoregressive Integrated Moving Average</i>
ARMA	<i>Autoregressive Moving Average</i>
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
HTTPS	<i>Hypertext Transfer Protocol Secure</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
NILM	<i>Non-Intrusive Load Monitoring</i>
NLU	<i>Natural Language Understanding</i>
REDD	<i>Reference Energy Disaggregation Data Set</i>
URL	<i>Uniform Resource Locator</i>



# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>19</b>
1.1	Motivação . . . . .	19
1.2	Objetivo . . . . .	20
1.3	Justificativa . . . . .	21
1.4	Organização do Trabalho . . . . .	21
<b>2</b>	<b>Revisão Literária</b>	<b>23</b>
2.1	Smart Grids . . . . .	23
2.2	Smart Meters . . . . .	24
2.3	Sistemas de Recomendação . . . . .	25
2.4	Sistemas de Recomendação em Smart Grids . . . . .	25
2.5	Predição de Consumo Elétrico . . . . .	26
2.6	Monitoramento de Consumo Não-Intrusivo . . . . .	27
<b>3</b>	<b>Trabalhos Relacionados</b>	<b>29</b>
3.1	Sistemas de Monitoramento de Consumo . . . . .	29
3.1.1	Sistemas de Monitoramento de Consumo Não-Intrusivo . . . . .	29
3.2	Projeto Hedwig - Casa Conectada . . . . .	30
<b>4</b>	<b>Metodologia do Trabalho</b>	<b>33</b>
4.1	Estudo de Usuário . . . . .	35
4.2	Aquisição de Dados de Consumo . . . . .	35
<b>5</b>	<b>Especificação de Requisitos do Sistema</b>	<b>37</b>
5.1	Resultados do Estudo de Usuário . . . . .	37

5.2	Requisitos do Sistema . . . . .	41
<b>6</b>	<b>Projeto e Implementação do Sistema de Predição, Recomendações e Interface Conversacional</b>	<b>43</b>
6.1	Arquitetura do Sistema . . . . .	43
6.2	Visualização de Informações . . . . .	44
6.3	Predição de consumo . . . . .	45
6.4	Interface Conversacional . . . . .	45
6.4.1	Intenção de Consulta de Consumo Energético . . . . .	48
6.4.2	Intenção de Consulta de Consumo Energético por Aparelho . . . . .	49
6.4.3	Intenção de Predição de Consumo Energético . . . . .	50
6.4.4	Intenção de Consulta de Sugestões de Economia de Energia . . . . .	51
6.5	Smart TV . . . . .	52
6.6	Integração dos Módulos de Interface Conversacional e Smart TV . . . . .	54
<b>7</b>	<b>Testes e Validação do Sistema de Predição, Recomendações e Interface Conversacional</b>	<b>57</b>
7.1	Validação das Bibliotecas de Visualização e Predição de Consumo . . . . .	57
7.2	Validação da Interface Conversacional . . . . .	58
7.3	Validação da Smart TV . . . . .	59
<b>8</b>	<b>Considerações Finais</b>	<b>61</b>
8.1	Conclusões do Projeto de Formatura . . . . .	61
8.2	Contribuições . . . . .	61
8.3	Perspectivas de Continuidade . . . . .	62
	<b>Referências</b>	<b>65</b>
	<b>Apêndice A – Questionário sobre Viabilidade e Partes Interessadas</b>	<b>67</b>

Apêndice B – Arquivos de Comunicação entre Dialogflow e Flask	71
Apêndice C – Telas das interfaces conversacionais	78



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Motivação

O uso de tecnologias da Internet das Coisas (IoT) no setor residencial aumenta a interconectividade, automação, e conforto de uso de eletrodomésticos e outros equipamentos domésticos em geral, gerando ao usuário conveniência, segurança e economia. De acordo com pesquisa da empresa de consultoria McKinsey, entre 2015 e 2017, o mercado de casas conectadas cresceu a uma taxa composta anual de 31% [1].

Embora não muito difundido no mercado brasileiro, o conceito de casa inteligente é um assunto que gera interesse em outros mercados, como o americano. Uma pesquisa recente [2] mostrou que aproximadamente 53 milhões de adultos americanos possuem Smart Speaker em suas residências, isso representa um aumento de aproximadamente 36% em relação ao estudo do ano anterior. Além desse expressivo aumento, pode-se observar uma mudança do comportamento dos consumidores: a porcentagem de usuários de Smart Speakers que possuem 3 ou mais destes aparelhos, saltou de 17% para 30% enquanto os que possuem apenas 1 aparelho caiu de 62% para 48% . Isso reflete a preferência do usuário por em uma maior diversidade de sistemas e uma crescente disputa entre as empresas do ramo para obter a dominância sobre o ecossistema das casas.

A relevância do presente projeto pode ser visto em números: aproximadamente 16,4 milhões de usuários americanos possuem smart speakers com acesso a tela e um público potencial de mais de 28 milhões demonstraram interesse em adquirir um smart speaker com tela. Gigantes da indústria, como Google (Google Home Hub), Amazon (Amazon Echo Show) competem pela hegemonia neste mercado que se mostra promissor. Segundo a AMR([3]), a previsão é que o mercado de chegue a 25 bilhões de dólares em 2025. Neste contexto, já se fala em "smart speaker war" entre as empresas de tecnologia para obter a hegemonia do mercado.

O presente projeto se baseia em um trabalho de formatura de 2017, o Hedwig - A Casa Conectada [4]. Tal projeto contou com tópicos relacionados a internet das coisas,

casa inteligente (Smart Homes), cidades inteligentes (Smart Cities) e sistemas tolerantes a falhas de conexão.

Pretende-se estender os conceitos abordados no Projeto Hedwig, focando nas áreas de aprendizado de máquina, economia de energia, e conscientização do uso de energia, tendo como base a casa conectada montada no projeto acima citado. A interface de interação será por linguagem natural, o que possibilitará estender os ganhos do projeto base (Hedwig).

O projeto Hedwig é baseado em arquitetura modularizada e de fácil instalação e configuração. O Hedwig tem grande foco nos conceitos de robustez, modularidade, segurança, privacidade e aprendizado de máquina, sendo este último conceito o que será mais explorado no presente projeto, para que seja possível gerar previsões de gastos e gerenciamento inteligente de energia.

## 1.2 Objetivo

O objetivo deste projeto é estudar e desenvolver um serviço de monitoramento do consumo de energia elétrica em casas conectadas, de modo a conscientizar o usuário sobre seu perfil de consumo, alertá-lo sobre picos ou atividades atípicas, e identificar possíveis anormalidades em eletrodomésticos, de maneira acessível a um público não técnico e disponível a baixo custo.

Para permitir a criação de um sistema educativo, serão utilizadas interfaces de voz, permitindo a conscientização e visualização de dados de forma natural e intuitiva, além da integração com Smart TVs, de modo a apresentar os resultados de maneira mais detalhada.

Com o intuito de auxiliar na redução do consumo de energia, será usada predição de consumo futuro, permitindo ao usuário planejar suas contas e reduzi-las mais efetivamente, além de alertas de consumo anormal, avisando o usuário caso um de seus eletrodomésticos pare de funcionar ou apresente consumo acima do esperado.

Por fim, sistemas de recomendação personalizados, em conjunto com a infraestrutura existente da casa conectada, irão gerar sugestões assertivas que provocarão uma economia de energia de forma educativa ao usuário.



## 1.3 Justificativa

De acordo com relatório do *Joint Research Centre* da União Européia, ao analisar mais de 46 estudos sobre a eficiência do uso de sistemas para monitoramento em tempo real do consumo energético em residências, as economias de energia chegaram a até 15% [5].

Aliando a capacidade de monitoramento à possibilidade de realizar previsões e sugestões de hábitos e ações para reduzir o consumo, o sistema desenvolvido deve efetivamente conscientizar o usuário e o auxiliar na economia de energia.

## 1.4 Organização do Trabalho

Este documento está dividido nos seguintes capítulos:

- Capítulo 1 - Introdução: Apresentação do projeto, sua motivação, objetivo e justificativa.
- Capítulo 2 - Revisão Literária: Introdução aos conceitos de smart grid, smart meters, sistemas de recomendação, previsão de consumo e monitoramento de energia não intrusivo.
- Capítulo 3 - Trabalhos Relacionados: Apresentação de projetos comerciais e trabalhos acadêmicos relacionados ao monitoramento do consumo energético residencial.
- Capítulo 4 - Metodologia do Trabalho: Detalhamento da organização e das etapas executadas no trabalho.
- Capítulo 5 - Especificação dos Requisitos do Sistema: Levantamento dos requisitos funcionais e não-funcionais e suas respectivas justificativas.
- Capítulo 6 - Implementação do Sistema de Predição, Recomendações e Interface Conversacional: Apresentação da arquitetura e implementação dos módulos a partir da especificação realizada no capítulo anterior.
- Capítulo 7 - Testes e Validação do Sistema de Predição, Recomendações e Interface Conversacional: Descrição dos procedimentos de teste e validação do sistema implementado.

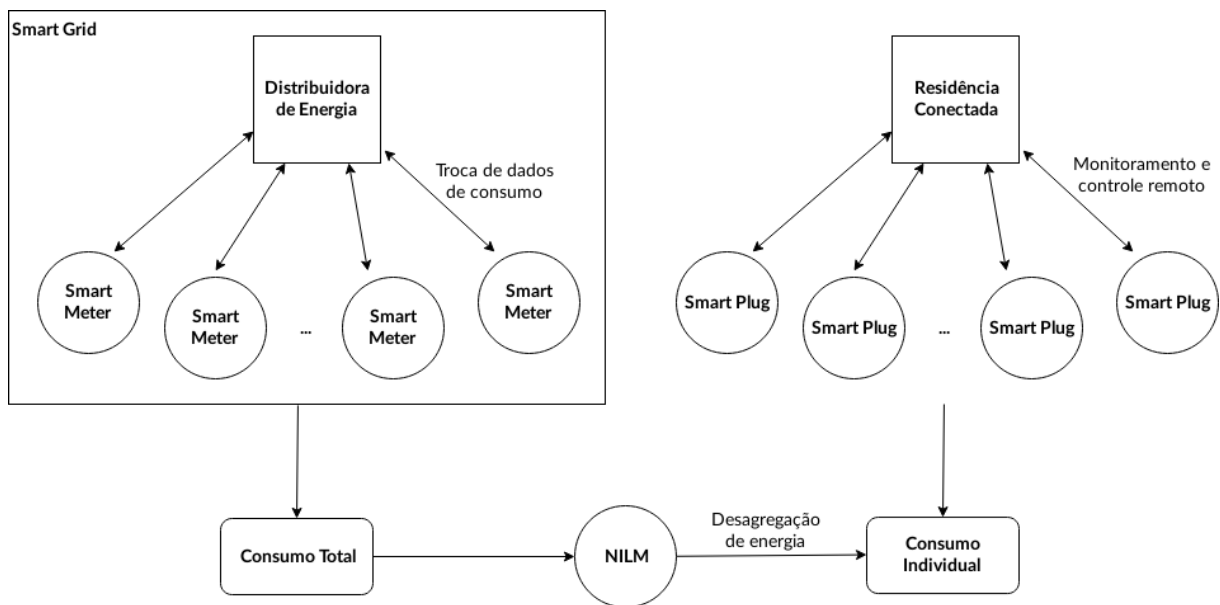
- Capítulo 8 - Considerações Finais: Sintetização dos resultados obtidos, contribuições efetivas trabalho e perspectivas de continuidade do trabalho.

## 2 REVISÃO LITERÁRIA

Neste capítulo, é apresentada uma visão geral das áreas de pesquisa de smart meters, smart grids, sistemas de recomendações em smart grids, modelos de predição de consumo elétrico, monitoramento de consumo não-intrusivo e técnicas de desagregação de energia.

A Figura 1 mostra a relação entre smart grids, smart meters, smart plugs e monitoramento de consumo não-intrusivo.

Figura 1: Relação entre as diferentes áreas estudadas



### 2.1 Smart Grids

Smart grid é a evolução do tradicional sistema de transmissão de energia. Sua principal diferença em relação ao sistema tradicional é basicamente a forma de interação entre a rede e o consumidor. Em um sistema tradicional, somente a rede envia energia para as residências, enquanto em um Smart Grid, existe a possibilidade de transmissão em via dupla tanto de energia quanto de informações sobre a rede ou sobre a residência. Tal evolução

apresenta um sistema de transmissão e distribuição de eletricidade descentralizados com capacidade de monitoramento e reparação automáticos.

Estas características permitem uma maior eficiência e segurança no fornecimento de energia, além de possibilitarem alternativas para os consumidores como cogeração de energia e planos de tarifação variáveis [6]. O conceito de Smart Grid se estende além disso, pois a comunicação em via dupla permite que Smart Homes possam se conectar à rede de modo que o sistema como um todo saiba a que taxa estão ocorrendo o consumo e geração de energia. Deste modo, é possível que se reduza a necessidade de ativação de geradores secundários de energia, em horários de pico, que são geralmente movidos a gás natural ou carvão. A necessidade de ligar as usinas secundárias aumenta o gasto das companhias de energia e conseqüentemente o custo pro consumir final. Além disso, tais fontes de energia não são renováveis e acabam gerando externalidades negativas ao meio ambiente.

Existem três sub-sistemas principais: o sistema de infraestrutura, de gerência, e de proteção inteligentes. O sistema de infraestrutura é responsável pela comunicação entre consumidor e fornecedor e vice-versa. O sistema de gerência permite o controle avançado da rede. O sistema de proteção fornece proteção contra falhas, análise de confiabilidade, segurança e privacidade à rede.

## 2.2 Smart Meters

Smart meters são aparelhos que registram o consumo de energia elétrica e se comunicam com a distribuidora de energia. Sua função principal é de monitorar o consumo, usualmente de energia elétrica, e realizar o faturamento a ser pago pelo consumidor de forma automática. Este tipo de aparelho é uma alternativa aos tradicionais medidores de energia analógicos (medidores de ponteiro) que são encontrados usualmente nas residências do Brasil. [7].

Tipicamente, a medição é feita de hora em hora e diariamente é realizado o envio de informações para a distribuidora de energia. Tal característica é muito interessante no contexto de smart grids pois possibilita uma melhor descrição do perfil de consumo, viabilizando que a tarifa de energia elétrica seja variável.

Esta variação no preço da energia é de interesse mútuo pois os picos de energia são custosos para as distribuidoras que precisam investir no manejo e produção de energia nos horários de pico. Diminuindo os picos de energia, diminuem-se os gastos e consequen-

temente o preço da energia para o consumidor final.

Com o advento dos smart meters, veio a tona o assunto da privacidade: As constantes medições (tipicamente com intervalos de poucos segundos ou alguns minutos) gerou problemas de privacidade e segurança, pois com os dados obtidos, mostrou-se possível obter hábitos dos usuários, como o horário em que acordam e se estão ou não na residência [8].

É importante ressaltar que esta possível invasão de privacidade depende da frequência de amostragem do consumo de energia. Por exemplo, frequências menores não conseguem captar muitos dados específicos, sendo portanto menos invasivas ao usuário. Frequências maiores, por outro lado, embora mais invasivas, permitem uma análise de dados mais profunda, como visto na Seção 2.6.

## 2.3 Sistemas de Recomendação

Sistemas de recomendação são classificados em três categorias principais: baseados em conteúdo, colaborativos, e híbridos [9]. Sistemas baseados em conteúdo são alimentados por meio de informações recebidas dos usuários, montando assim seu perfil. Quanto maior a quantidade de informações sobre o usuário e suas ações estiverem disponíveis, maior a acurácia do método.

Os sistemas colaborativos utilizam informações dos usuários, sejam elas pessoais, ou sobre seus interesses e aversões, para encontrar outros usuários com gostos similares, e recomendar produtos ou serviços semelhantes ao dos usuários similares.

Sistemas de recomendações híbridos combinam técnicas de diferentes métodos de modo a beneficiar-se das vantagens de cada técnica. Além dos modelos baseados em conteúdo e colaborativo, existem outros também frequentemente usados, como os baseados em conhecimento e demográficos [10].

## 2.4 Sistemas de Recomendação em Smart Grids

De acordo com [11], o uso de sistemas de recomendação em smart grids ainda é novo, sendo o autor um pioneiro em sua discussão e pesquisa. Três técnicas de recomendações do tipo colaborativo são discutidas:

- Uso dos dados de consumo de eletrodomésticos, histórico de buscas em e-commerce (alternativamente pode-se utilizar uma pesquisa de interesse diretamente com usuário)

e informações básicas sobre o usuário (idade, sexo, ocupação), para então treinar esta base de conhecimento sobre o interesse do usuário em comprar certa categoria de produto com maior eficiência energética.

- Uso de AMI (Advanced Metering Infrastructure) para relacionar o padrão de consumo com a escolha do plano de tarifação de consumo de energia. O sistema então verifica o padrão de consumo de usuário e recomenda a tarifação mais utilizada por usuários semelhantes.
- Uso da tarifação variável, categorizando eletrodomésticos em consumo deslocável, cuja utilização pode ser adiada (p.ex., máquina de lavar, secadora), e não deslocável (lâmpadas, ferro de passar roupa). O sistema então verifica os padrões de uso dos equipamentos deslocáveis e recomenda padrões de uso semelhantes a de outros usuários semelhantes.

## 2.5 Predição de Consumo Elétrico

Em [12] são utilizados modelos auto-regressivos integrados de médias móveis (ARIMA) e auto-regressivos de médias móveis (ARMA) para prever a demanda de eletricidade a partir de dados de consumo gerados por smart meters.

Os resultados são comparados por meio da medida Akaike Information Criterion (AIC), o qual mede a aderência ao conjunto de dados e seu trade-off com a simplicidade do modelo. É observado que o método ARMA é mais eficiente para predição do consumo diário e semanal, enquanto o ARIMA para predição mensal e quadrimestral.

A principal variante utilizada neste projeto é o SARIMA, possibilitando considerar a sazonalidade das séries de consumo. Por exemplo, para frequências de amostragem diários, é interessante utilizar sazonalidade de 7 períodos, e para taxa mensal, de 12 períodos. O SARIMA não é utilizado para séries de períodos semanais, por possuírem períodos muito longos, de 52 semanas. Portanto, sua simplificação ARIMA é utilizada.

O data set Smart\*, apresentado na Seção 4.2, possui também informações diárias de temperatura, umidade, visibilidade, temperatura ambiente, pressão, velocidade do vento, e precipitação. É possível utilizar o modelo ARIMAX para incorporar estas variáveis exógenas à predição.

Outros modelos não-lineares são utilizados para predição de consumo elétrico, baseados em redes neurais, cadeias de Markov, *Support Vector*, e distribuições estocásticas [13],

obtendo predições mais precisas em comparação com modelos lineares.

## 2.6 Monitoramento de Consumo Não-Intrusivo

O monitoramento de consumo não-intrusivo, ou *Non-Intrusive Load Monitoring* (NILM) em inglês, designa o problema de identificar o consumo individual de aplicações a partir do consumo agregado de todos os eletrodomésticos em determinado edifício [14].

Os métodos para solucionar este problema podem ser divididos pela frequência de amostragem do consumo total, entre instalações com medições de baixa (na faixa de 1 Hz) e alta (acima de 2 kHz) frequências [15].

As instalações com medições de baixa frequência são capazes apenas de deduzir de forma grosseira o consumo, separando-o em categorias, como por exemplo aplicações de uso permanente, aplicações do tipo ligado-desligado, e aplicações de consumo continuamente variável.

Para isto, é monitorada a potência ativa e, em alguns casos, a reativa. Para reduzir ruídos no sinal, são utilizados filtros medianos. Em situações reais, apenas aplicações do tipo ligado-desligado são detectadas de forma satisfatória.

Para esta técnica, é também necessária uma etapa de treinamento, com duração de ao menos uma semana, para realizar o aprendizado dos hábitos de consumo.

Já as instalações com amostragem de alta frequência permitem uma visão microscópica do consumo, embora necessitem de uma infraestrutura mais robusta para transmissão e armazenamento destes dados.

A alta taxa de amostragem permite ao sistema detectar com maior granularidade os transientes do ligamento e do desligamento de eletrodomésticos, importante para aferir diferenças entre eletrodomésticos com consumo de potência similares.

Esta categoria de frequência de amostragem utiliza diferentes métodos para detecção do consumo individual. Dentre as técnicas utilizadas, está o uso da componente transiente do sinal, a decomposição por meio da transformada de Fourier ou transformada Wavelet, a análise do ruído das aplicações e, assim como na amostragem de baixa frequência, também são utilizadas as potências ativa e reativa da residência.

O uso destas técnicas já é utilizado em produtos disponíveis no mercado devido a sua flexibilidade e facilidade de instalação, como por exemplo o Sense [16] e os produtos da linha Speed da empresa Enetics, sendo este utilizado desde a década de 1990 [17].





## 3 TRABALHOS RELACIONADOS

Neste capítulo são apresentados sistemas comerciais e trabalhos acadêmicos relacionados ao monitoramento do consumo energético residencial e automação residencial.

### 3.1 Sistemas de Monitoramento de Consumo

Atualmente, para realizar a medição do consumo energético residencial, são utilizados duas categorias de sensores principais: *smart meters* e *smart plugs*.

Os *smart meters*, assim como apresentado na Seção 2.2, são instalados pela distribuidora de energia e permitem uma comunicação de via dupla entre esta e o consumidor, facilitando serviços como tarifas variáveis e geração distribuída de energia.

Entretanto, sua presença no Brasil ainda é baixa, com poucos incentivos governamentais, diferente de outras regiões como a União Européia, em que diretrizes são determinadas para implantação de smart meters [18].

Os *smart plugs*, por sua vez, são instalados pelos próprios consumidores, permitindo ao usuário monitorar seu consumo e ligar ou desligar aparelhos domésticos remotamente, sendo muitas vezes integrados a smart speakers. Entre as empresas desenvolvedoras de smart plugs, está a Xiaomi, Belkin e Wink [5].

#### 3.1.1 Sistemas de Monitoramento de Consumo Não-Intrusivo

Embora utilizado em menor escala, existem diversos sensores NILM disponíveis comercialmente [19]. Um destes projetos, escolhido para análise do estado da arte foi o Sense<sup>1</sup>.

O Sense é um projeto iniciado em 2015, oferecendo um sensor não-intrusivo e um aplicativo para celulares no qual é possível obter o consumo da maior parte dos aparelhos

---

<sup>1</sup><https://sense.com/>

elétricos da residência.

O sensor utilizado é semelhante ao Wiser Energy Home Monitoring da Schneider Electric<sup>2</sup>, capturando amostras a uma taxa de 1 MHz, e a potência consumida pelo módulo em si é de 4 watts.

Após a instalação do sensor, a detecção de aparelhos é feita gradualmente, podendo levar de uma semana a um mês para detectar todos os aparelhos possíveis. Para aprimorar o algoritmo de detecção, o Sense realiza a coleta de dados de uso dos usuários, os quais podem optar por não enviá-los.

## 3.2 Projeto Hedwig - Casa Conectada

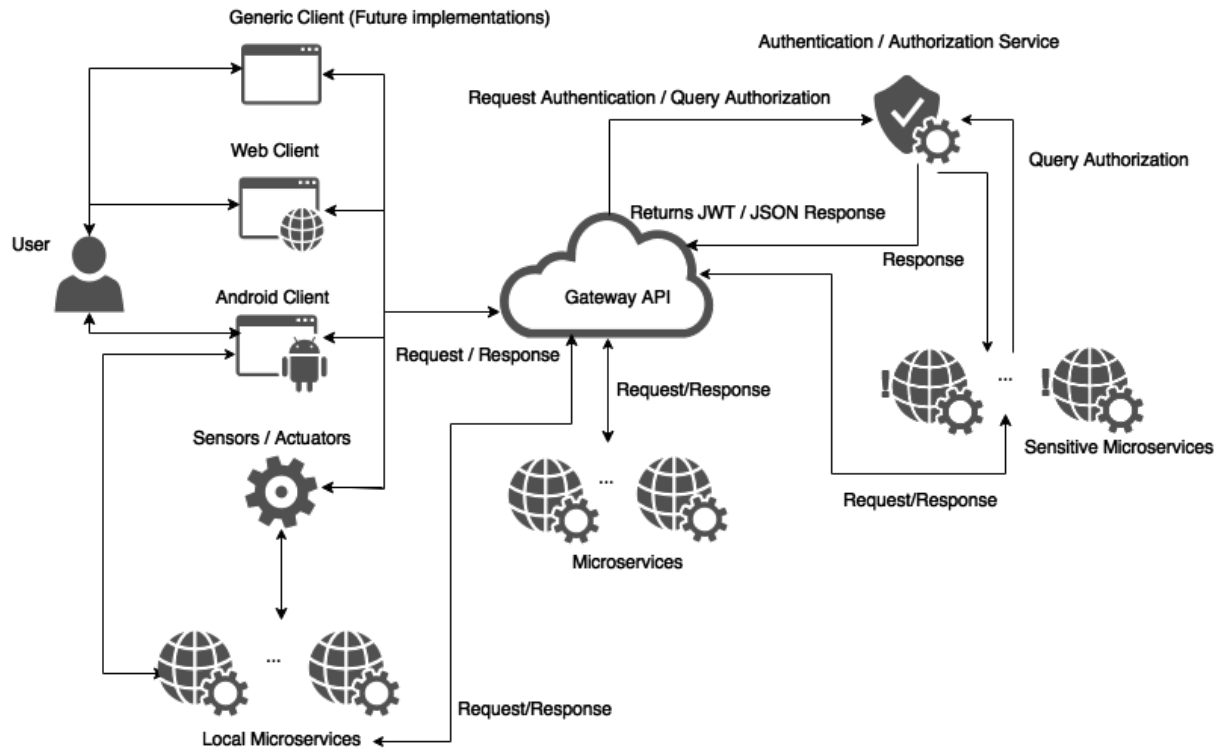
O projeto Hedwig [4], assim como apresentado na Seção 1.1, é um trabalho de conclusão de curso de engenharia da computação da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Seu objetivo foi estudar e desenvolver um sistema de arquitetura modularizada, segura e robusta.

Foram construídos módulos de hardware para automação e monitoramento de eletrodomésticos e iluminação, além de aplicações clientes. O sistema projetado possui contingência a falhas de comunicação, aprendizado de máquina das rotinas do usuário, e modularidade física e arquitetural. Todo fluxo de dados é realizado por meio de protocolos criptografados e com autenticação de usuários.

---

<sup>2</sup><https://www.se.com/us/en/product/WISEREM/wiser-energy-home-monitoring/>

Figura 2: Arquitetura do projeto Hedwig



Fonte: [4]

O projeto Hedwig foi baseado em microserviços que se comunicam via requisições. Estas, são autenticadas e autorizadas através de um gateway que atuaria como um ponto entre os microserviço e os serviços da nuvem.

Enquanto o projeto Hedwig teve como resultado um sistema de automação e monitoramento residencial, o atual trabalho de conclusão de curso tem um escopo reduzido, utilizando-se da arquitetura anterior para realizar um sistema de monitoramento do consumo energético residencial.

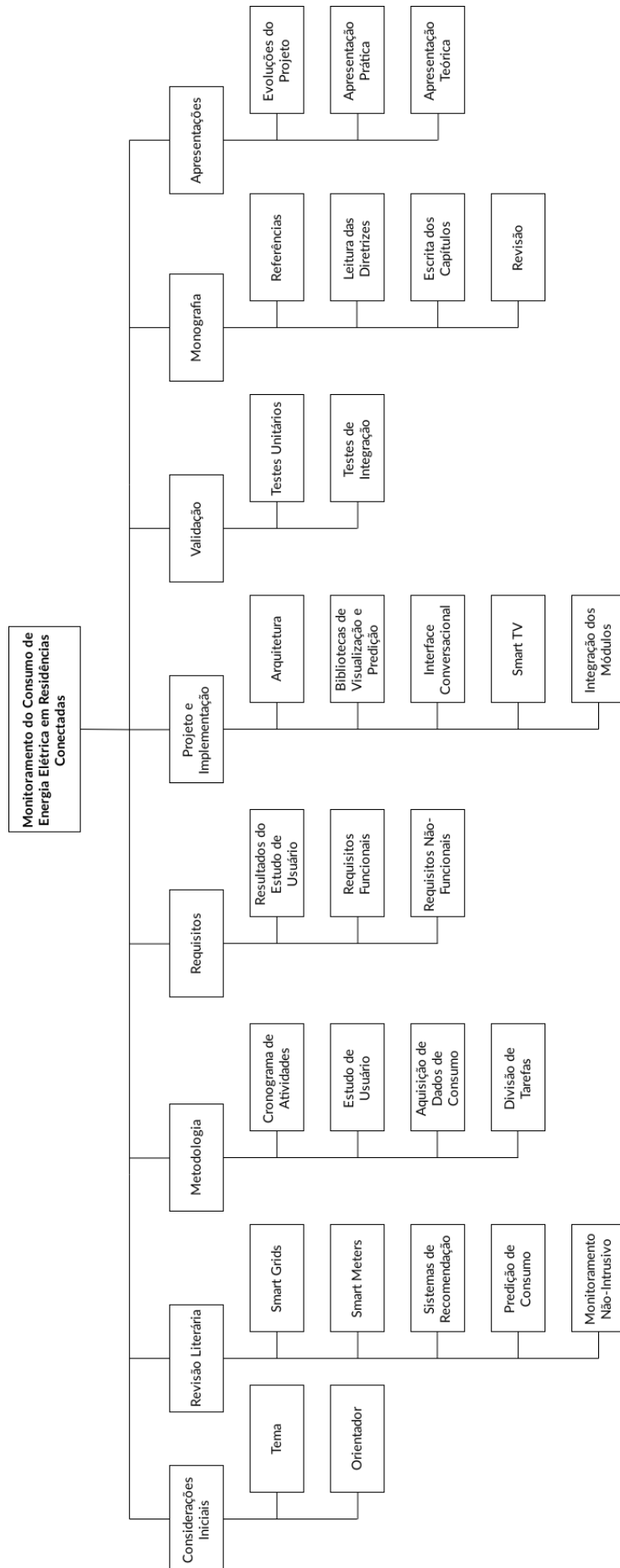
O monitoramento realizado no Hedwig permite a visualização do consumo energético individual de aparelhos, além da umidade e a temperatura dos cômodos da casa. Entretanto, seu foco maior foi na implementação de uma arquitetura robusta, modular e segura. No trabalho de conclusão de curso atual, há um foco maior na visualização e tratamento de dados para realizar previsões e sugestões com o intuito de educar e ajudar o usuário a economizar energia.



## 4 METODOLOGIA DO TRABALHO

Neste capítulo, é apresentado o cronograma das atividades a serem realizadas, além do processo de execução de cada etapa. A Figura 3 mostra a estrutura analítica do projeto com a subdivisão das tarefas a serem realizadas.

Figura 3: Estrutura analítica do projeto



## 4.1 Estudo de Usuário

Foi realizado um estudo de usuário durante a disciplina PCS3573 - Interação Humano-Computador, em que estudou-se a viabilidade do projeto como um produto, e quais seriam as partes interessadas neste.

Por meio de um questionário online na ferramenta Google Forms, e entrevistas presenciais com potenciais usuários no Centro de Práticas Esportivas da USP, analisou-se quais os interesses e motivações das pessoas no uso de um sistema de monitoramento de consumo de energia, com o intuito de entender melhor o usuário e auxiliar na definição das regras de negócio e requisitos do sistema de modo a saciar suas necessidades, obtendo um total de 86 respostas.

As perguntas realizadas e a análise das respostas submetidas pelo questionário são apresentadas na Seção 5.1.

## 4.2 Aquisição de Dados de Consumo

Para realizar a validação do projeto, serão utilizados dois conjuntos de dados públicos de consumo de energia elétrica em residências reais: REDD (Reference Energy Disaggregation Data Set) [20] e Smart\* [21].

O data set REDD possui dois tipos de dados disponíveis: de baixa frequência (taxa de amostragem de 1 Hz), separados por aplicação (e.g. fogão, iluminação, microondas); e de alta frequência (taxa de amostragem de 15 kHz), informando apenas a corrente de duas fases e a tensão em uma fase da alimentação central. Estão disponíveis dados de 6 residências, cada qual com cerca de 30 dias de consumo gravados.

O data set Smart\* possui apenas dados de baixa frequência separados por aplicação, com períodos entre duas amostras de 1, 15, ou 30 minutos, dependendo do eletrodoméstico. Estão disponíveis dados de 7 residências, em um período de 3 anos, de 2014 a 2016.

Tabela 1: Comparação entre os data sets REDD e Smart\*

	Amostragem [Hz]	No. de Casas	Duração	No. de Equipamentos
<b>REDD</b>	1 e 15000	6	30 dias	20
<b>Smart*</b>	1/60	7	3 anos	25





## 5 ESPECIFICAÇÃO DE REQUISITOS DO SISTEMA

Este capítulo apresenta o projeto desenvolvido no trabalho de conclusão de curso, descrevendo seus requisitos funcionais e não-funcionais, além dos resultados do estudo de usuário, os quais ajudaram nas decisões de projeto.

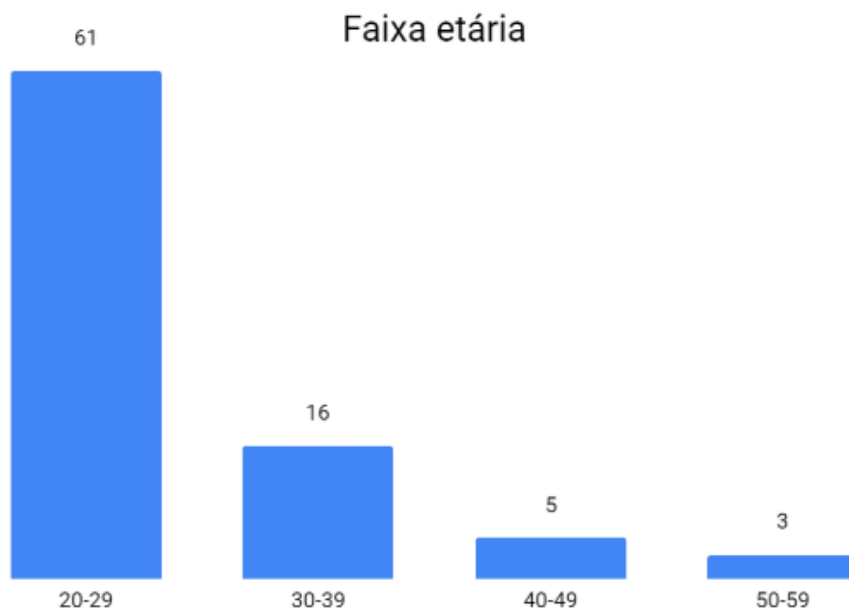
### 5.1 Resultados do Estudo de Usuário

Para entender melhor a viabilidade do produto e as partes interessadas no projeto, foi realizada uma pesquisa de usuário, como apresentado na Seção 4.1. Foram obtidas 86 respostas ao questionário distribuído em grupos de familiares e colegas em redes sociais. Estes resultados serão utilizados para melhor definir os requisitos do sistema, de modo que esta atenda as necessidades dos usuários. O Apêndice A mostra as questões apresentadas aos entrevistados.

A Figura 4 mostra a distribuição de idade dos inquiridos.

Para o projeto, uma faixa etária acima de 40 anos seria mais interessante, logo, não foi possível atingir o público esperado (obtivemos 8 respostas do público desejado dentre os 86 entrevistados).

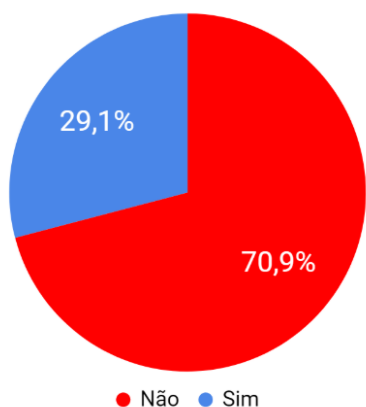
Figura 4: Faixa etária dos entrevistados



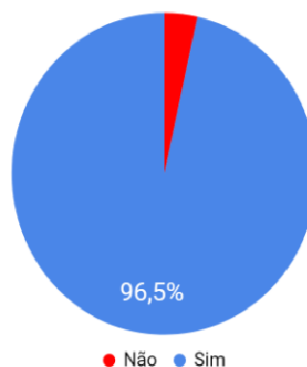
A Figura 5 mostra que embora poucas pessoas monitorem o consumo de energia em suas residências, a aceitação do projeto é grande, com grande maioria de interessados em conhecer melhor sobre seu consumo.

Figura 5: Questões sobre a viabilidade do projeto

**Você monitora o consumo de energia elétrica da sua residência?**



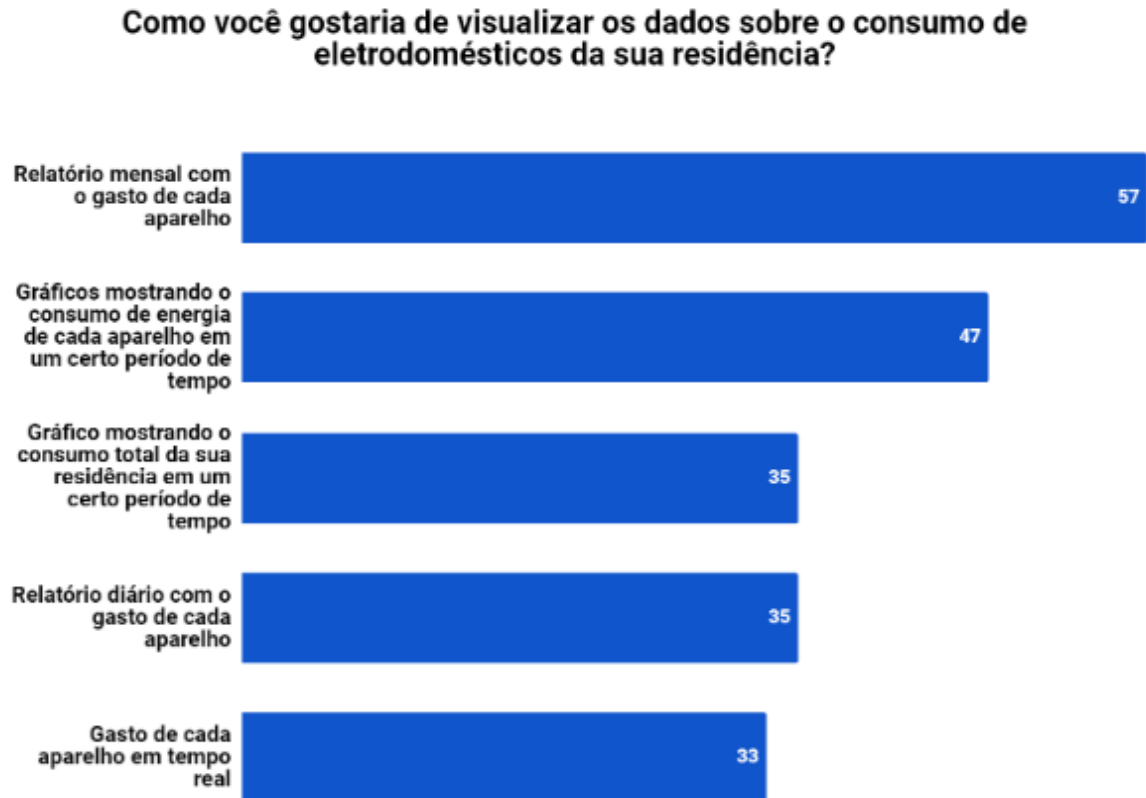
**Você gostaria de saber o quanto de energia cada um dos aparelhos eletrônicos de sua casa estão gastando?**



Também foi perguntado aos respondentes quais as formas de visualização de dados eles preferiam, permitindo ao entrevistado escolher mais de uma opção. A Figura 6 indica que o consumo em tempo real não é uma das prioridades, enquanto o relatório mensal foi considerado o mais importante. Deste modo, é razoável dar maior foco à precisão dos

modelos utilizados em troca de um tempo maior de processamento.

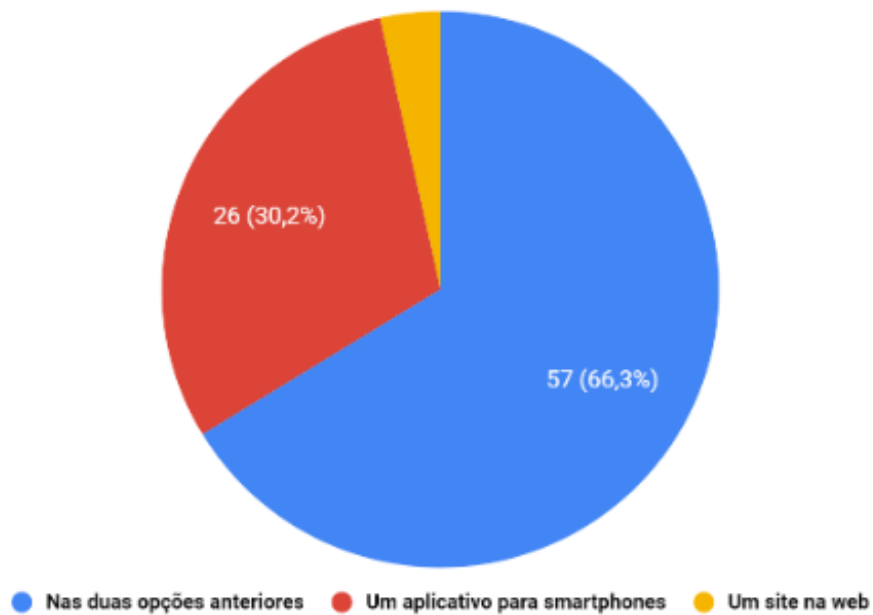
Figura 6: Preferência de visualização dos dados



Quanto à plataforma em que se deseja navegar a interface, houve uma preferência ao uso de aplicativos móveis em relação a websites, como mostra a Figura 7. Este resultado foi utilizado na escolha final da interface, usando um aplicativo móvel como plataforma principal do projeto.

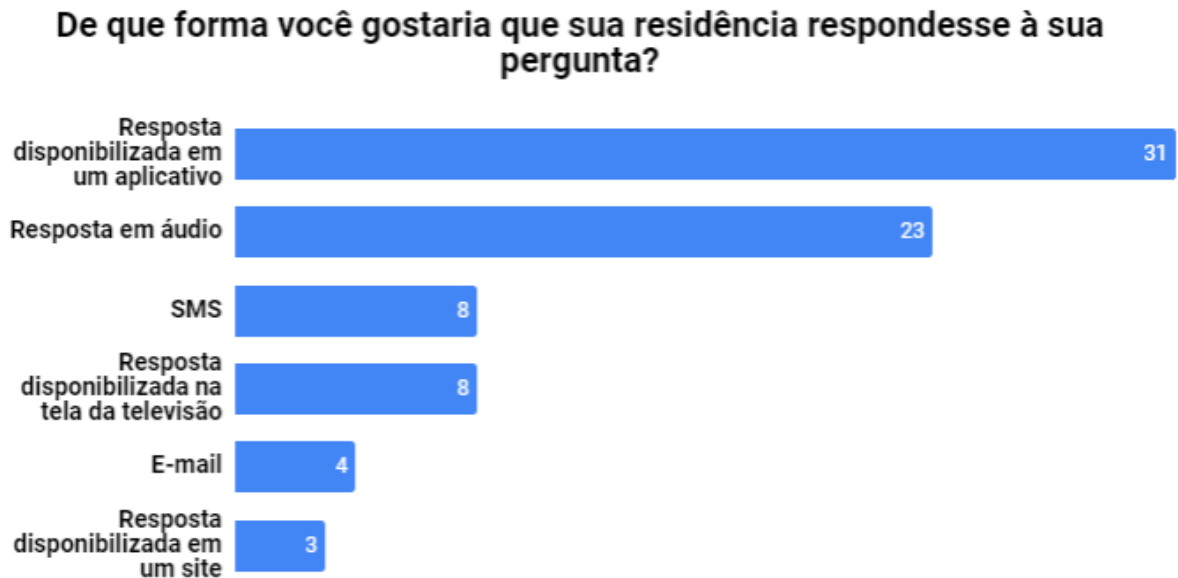
Figura 7: Preferência de plataforma da interface

**Você prefere que os dados de consumo de energia fiquem disponíveis em:**



Foi questionado também como os usuários preferem, ao realizarem perguntas por meio de um chatbot, receber as respostas enviadas pelo sistema. Pode-se aferir a partir das Figuras 7 e 8 que a maior parte dos usuários prefere o uso de aplicativos móveis. Além disso, há também grande aceitação de interfaces conversacionais, sendo a segunda opção mais votada na Figura 8.

Figura 8: Preferência de meio de resposta do sistema



## 5.2 Requisitos do Sistema

A seguir são apresentados os requisitos funcionais (RF) e não funcionais (RNF) do sistema.

**RF001:** O sistema deve ser capaz de informar o histórico de consumo de energia por eletrodoméstico

Informar ao usuário o consumo instantâneo, diário, semanal, ou mensal de um determinado eletrodoméstico ou total da residência.

**RF002:** O sistema deve permitir interação por meio de linguagem natural

Comunicar de forma interativa com o usuário por voz ou texto.

**RF003:** O sistema deve realizar a predição do consumo elétrico

Informar ao usuário estimativas de consumo diário, semanal, e mensal de determinado eletrodoméstico ou da residência.

**RF004:** O sistema deve ser capaz de realizar recomendações de economia ao usuário

Recomendar produtos com maior eficiência energética, planos de tarifação que reduzam o valor da conta de energia elétrica, ou mudanças nos hábitos de uso de

equipamentos de consumo deslocáveis, que podem ser utilizados fora do horário de pico sem prejuízo ao usuário.

**RF005:** O sistema deve permitir interação por meio de aplicação para Smart TV

Disponibilizar dados de consumo e predição ao usuário por meio de aplicação web responsiva para Smart TVs.

**RNF001:** O sistema deve ser acessível

A interface deve aderir à norma ISO25010 [22], sendo acessível a um público não-técnico, com linguagem simples e intuitiva, sem necessidade de conhecimento de eletrônica, e de fácil utilização para usuários sem familiaridade com sistemas computacionais.

**RNF002:** Garantir tempo de processamento de até 5 segundos

Tempo de processamento e comunicação desde o envio da consulta por parte do usuário na interface conversacional até o retorno da resposta não deve ser superior a 5 segundos para evitar erros de *timeout* por parte da interface conversacional.

**RNF003:** Garantir a operação do sistema com menor número de funcionalidades durante indisponibilidade da conexão externa

Garantir que o morador tenha acesso a seus dados de consumo mesmo durante a ocorrência de falhas de comunicação com a Internet.

## 6 PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE PREDIÇÃO, RECOMENDAÇÕES E INTERFACE CONVERSACIONAL

Neste capítulo, é descrita a arquitetura e a implementação do sistema, de predição, recomendações e interface conversacional, e sua relação com os requisitos definidos no Capítulo 5.

### 6.1 Arquitetura do Sistema

Foram implementadas duas bibliotecas - infovis e forecast - para visualização (RF001) e predição (RF003) do consumo energético, respectivamente.

Tomando como base a plataforma Dialogflow<sup>1</sup>, foi criado um chatbot para realizar a interface entre o usuário e estas bibliotecas por meio de linguagem natural (RF002, RNF001). O chatbot também é capaz de realizar sugestões a partir do consumo mensal do usuário (RF004).

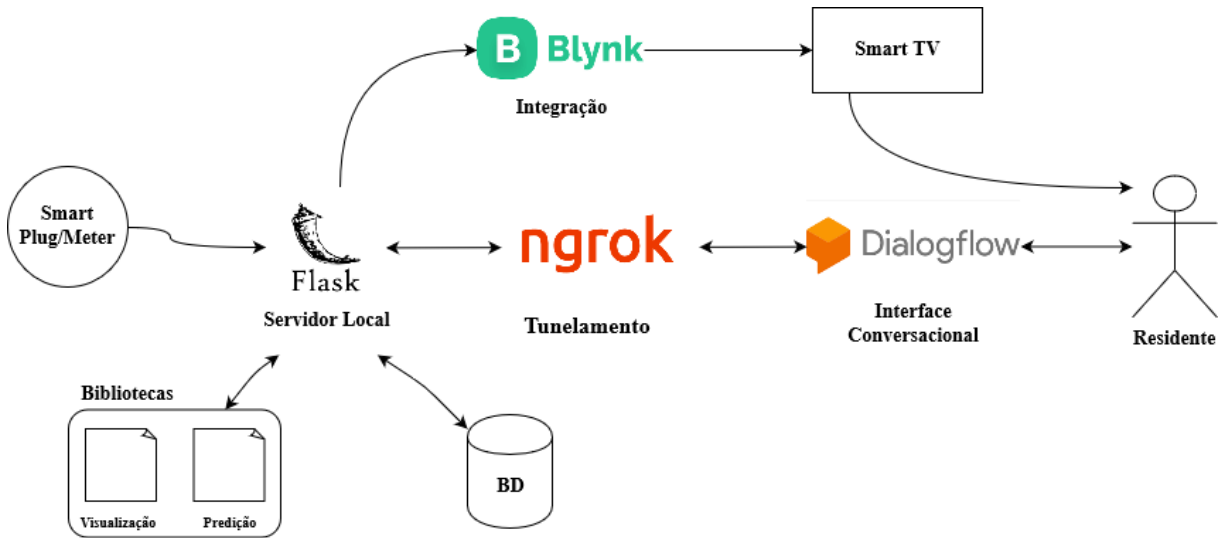
A arquitetura implementada permite que o usuário tenha acesso aos dados de consumo mesmo durante indisponibilidade da rede local (RNF003) por meio do cliente para Smart TVs.

A Figura 9 apresenta os principais componentes da arquitetura do sistema, os quais serão discutidos mais profundamente nas seções a seguir.

---

<sup>1</sup><https://dialogflow.com/>

Figura 9: Arquitetura do sistema em alto nível



A interação com o usuário é realizada por meio de uma interface conversacional, a qual realiza a comunicação com um servidor para consulta de dados ou previsões de consumo. O servidor retorna estes dados ao usuário, apresentando-os tanto na própria interface conversacional como também em uma aplicação para Smart TVs.

## 6.2 Visualização de Informações

A visualização de informações de consumo energético foi implementada como um *package* em Python, de modo a facilitar seu uso modular. As bibliotecas utilizadas foram Pandas, Matplotlib e Numpy.

Este módulo possui como finalidade receber consultas de consumo total da residência ou por aparelhos individuais entre duas datas quaisquer, consultar o banco de dados de consumo energético, e retornar os dados requisitados.

Foram aplicadas técnicas de *Information Visualization* [23] para uma apresentação de dados mais eficaz e didática. Durante a implementação, foram encontrados obstáculos tanto na biblioteca para desenho de gráficos Matplotlib, quanto no fato de ser necessário desenhá-los dinamicamente, necessitando prever casos em que dados possam ser nulos ou *outliers*, sem prejudicar a visualização de dados.

As Figuras 12, 13 e 14 mostram exemplos dos gráficos gerados pelo módulo.



## 6.3 Predição de consumo

A predição de consumo energético foi implementada como um *package* em Python. As bibliotecas utilizadas foram Pandas, Matplotlib, Numpy e Statsmodels.

Este módulo possui como finalidade receber consultas de predição do consumo total da residência entre duas datas quaisquer, consultar o banco de dados de consumo energético, gerar o modelo ARIMA para os dados de consumo passado na inicialização do módulo, gerar predições para consumo futuro e retornar os dados de predição requisitados.

## 6.4 Interface Conversacional

A interface principal de interação com o usuário é por meio de *Natural Language Understanding* (NLU), de modo a criar uma experiência lúdica e natural de consulta a informações e tomada de decisões.

Para isto, foi utilizado o Dialogflow, uma plataforma para construção de interfaces conversacionais, a qual também possui integração com as aplicações Google Assistant, Facebook Messenger, LINE, e Telegram. A Figura 10 apresenta a tela do aplicativo LINE integrado ao Dialogflow.

Figura 10: Tela do aplicativo LINE integrado ao Dialogflow



Também utilizou-se o arcabouço para desenvolvimento web Flask<sup>2</sup>, para tratamento das requisições HTTP de mensagens conversacionais e análise de dados de consumo, recebendo as consultas enviadas pelos usuários por meio da interface conversacional e realizando o seu devido tratamento.

A ferramenta de tunelamento Ngrok<sup>3</sup> é utilizada para a comunicação entre os processos do Dialogflow e do Flask, gerando um túnel seguro entre a porta local eo servidor Flask para a internet.

Cada uma das frases ou perguntas treinadas pela interface conversacional no Dialogflow são categorizadas em uma intenção. O chatbot desenvolvido possui quatro intenções principais:

<sup>2</sup><http://flask.palletsprojects.com/en/1.1.x/>

<sup>3</sup><https://ngrok.com/>

- Consulta de consumo energético;
- Consulta de consumo energético por aparelho;
- Predição de consumo energético;
- Sugestões de economia de energia.

Quando o usuário realiza perguntas como: "Quanto consumi este mês?", ou "Qual aparelho consumiu mais?" para as interfaces disponíveis nas plataformas Line, Facebook Messenger, Google Assistant ou Telegram, o Dialogflow realiza uma requisição HTTP do tipo POST com o arquivo `request.json` anexado em seu corpo para o endereço de tunelamento da ferramenta Ngrok. Um exemplo do formato do arquivo `request.json` pode ser observado no Apêndice B.

O Ngrok estabelece um tunelamento seguro entre o endereço HTTPS com o qual o Dialogflow se comunica, com o socket do servidor local estabelecido pelo Flask.

Em seguida, o servidor Flask recebe o arquivo `request.json`, realizando a leitura do arquivo. Uma rotina de tratamento é selecionada de acordo com o campo *displayName*, o qual pode possuir os valores "Consumo", "Consumo individual", "Predicao", e "Sugestoes". As diferentes rotinas são descritas nas seções 6.4.1 a 6.4.4.

Após a realização da rotina de tratamento, o sistema carrega o arquivo padrão para resposta à requisições do Dialogflow `response.json`, cujo formato pode ser observado no Apêndice B, e altera os campos *fulfillmentText* e *imageUri* com as devidas mensagens e endereço URL da imagem transferida ao Cloudinary<sup>4</sup>, serviço de hospedagem de imagens na nuvem.

A intenção requisitada pelo usuário e os dados de consumo relacionados ao período em questão são enviados ao Blynk, de modo a realizar a integração com o módulo da Smart TV, visto em maiores detalhes na Seção 6.6.

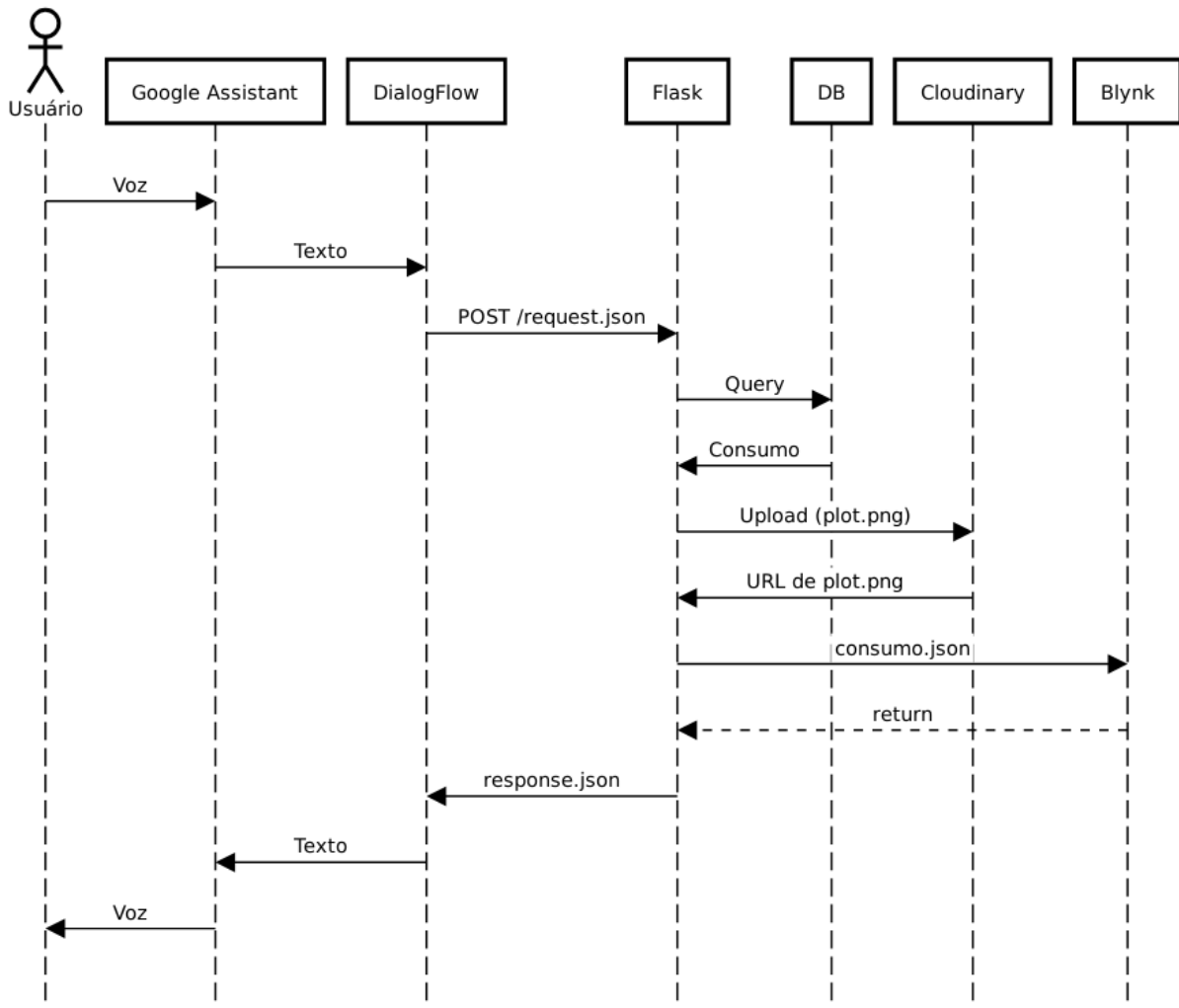
Por fim, o arquivo `response.json` é então enviado para o Dialogflow como resposta ao POST realizado.

A Figura 11 apresenta o diagrama de sequência de uma interação com o usuário por meio do Google Assistant.

---

<sup>4</sup>[https://cloudinary.com/documentation/django\\_integration](https://cloudinary.com/documentation/django_integration)

Figura 11: Diagrama de sequência da interação com o usuário pelo Google Assistant



#### 6.4.1 Intenção de Consulta de Consumo Energético

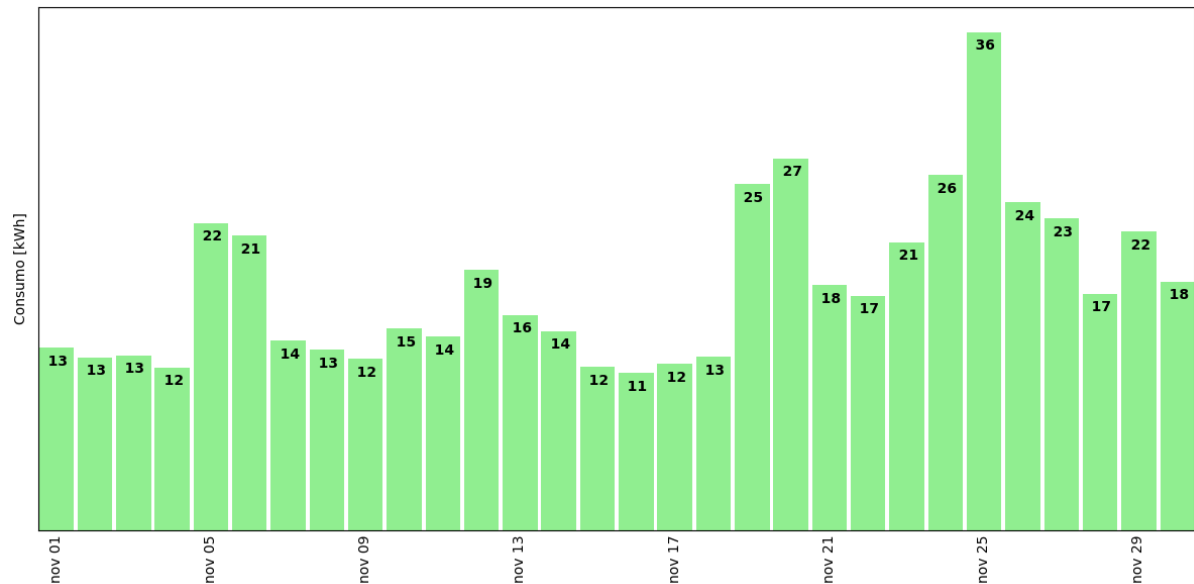
Os campos *startDate* e *endDate* enviados pelo Dialogflow possuem respectivamente as datas de início e fim da consulta realizada pelo usuário. Deste modo, no dia 12 de novembro de 2019, ao realizar a consulta: "Quanto consumi este mês?", o período retornado será de 1 a 30 de novembro de 2019.

O back-end implementado em Flask realiza então uma busca pela base de dados do consumo energético neste período, retornando o consumo agregado (soma de todos os aparelhos) diário no período.

Em seguida, utilizando a biblioteca Matplotlib, é desenhado o gráfico de barras do consumo, e a API Cloudinary realiza o upload deste gráfico como uma imagem png na nuvem. A Figura 12 mostra o gráfico de barras gerado pela consulta "Quanto consumi

em novembro?”.

Figura 12: Gráfico de barras gerado pela consulta do consumo energético



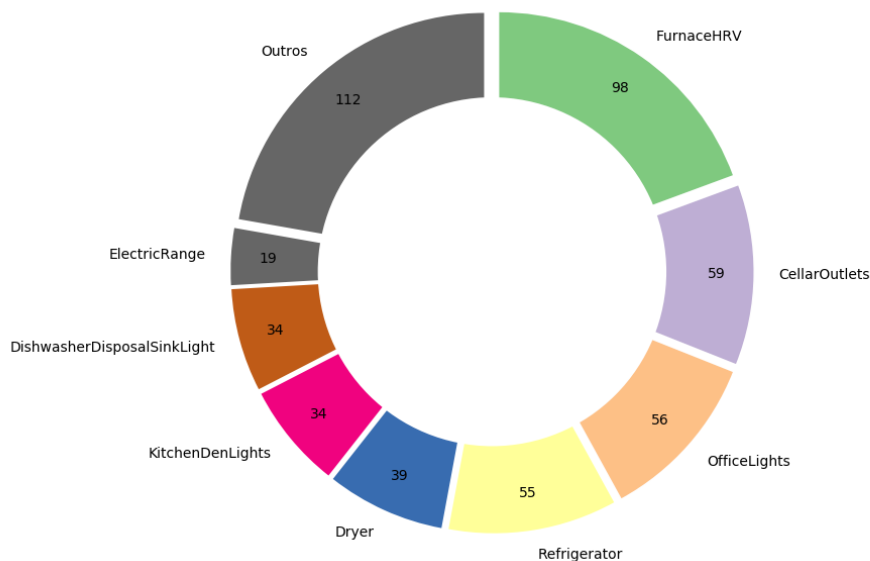
#### 6.4.2 Intenção de Consulta de Consumo Energético por Aparelho

Assim como a intenção de consumo energético agregado, a consulta por aparelho tem seu período definido pelos campos *startDate* e *endDate*.

O back-end implementado em Flask realiza então uma busca pela base de dados do consumo energético neste período, retornando o consumo individual por aparelho acumulado no período.

Em seguida, utilizando a biblioteca Matplotlib, é desenhado o gráfico circular do consumo, e a API Cloudinary realiza o upload deste gráfico como uma imagem png na nuvem. A Figura 13 mostra o gráfico circular gerado pela consulta ”Quanto consumi por aparelho em novembro?”.

Figura 13: Gráfico de barras gerado pela consulta do consumo energético por aparelho



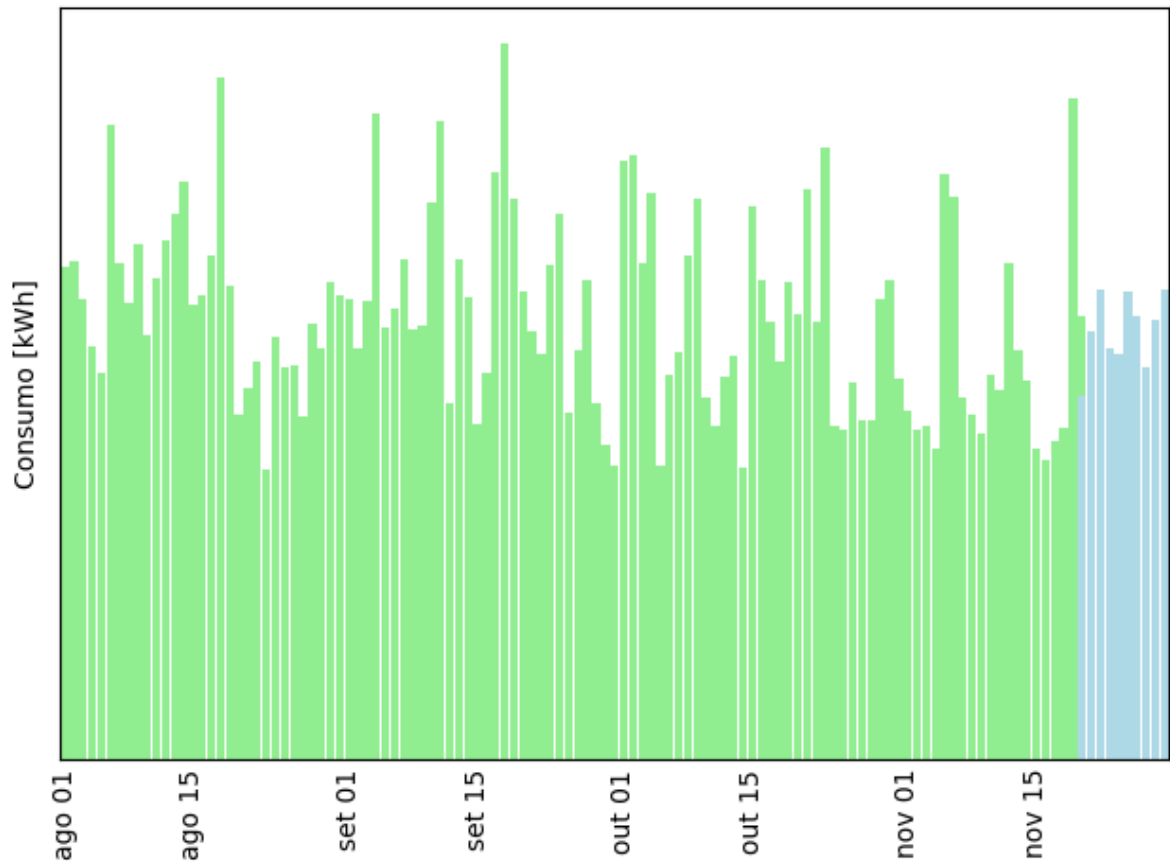
### 6.4.3 Intenção de Predição de Consumo Energético

Assim como a intenção de consumo energético agregado, a consulta por predição de consumo tem seu período definido pelos campos *startDate* e *endDate*.

O back-end implementado em Flask utiliza os dados do consumo energético nos três últimos meses como base para o modelo sobre o qual a predição será ajustada. Em seguida, é realizada a predição até a data definida por *endDate*.

Utilizando a biblioteca Matplotlib, é desenhado o gráfico de barras do consumo e da predição, nas cores verde e azul, respectivamente, e a API Cloudinary realiza o upload deste gráfico como uma imagem png na nuvem. A Figura 14 mostra o gráfico de barras do consumo diário total gerado pela consulta "Quanto vou consumir em novembro?".

Figura 14: Gráfico de barras gerado pela consulta da predição de consumo no mês de novembro



#### 6.4.4 Intenção de Consulta de Sugestões de Economia de Energia

A intenção de sugestões de economia de energia não possuem campos de *startDate* e *endDate*. Ao invés disso, as sugestões são baseadas no consumo dos últimos 30 dias.

O back-end implementado em Flask realiza uma busca pela base de dados do consumo energético por aparelho no último mês, e verifica qual eletrodoméstico apresentou o maior consumo. Em seguida, é realizada uma sugestão ao usuário de acordo com o aparelho de maior consumo, como mostra a Figura 18.

As sugestões de economia de energia foram projetadas de forma a serem lúdicas e de fácil execução por parte do usuário, sendo baseadas nos eletrodomésticos de maior consumo energético e maior interesse no estudo de usuário realizado na Seção 5.1.

Não foi possível desenvolver recomendações do tipo colaborativo, como estudado na

Seção 2.4, devido à ausência de dados pessoais dos residentes (ex.: idade, sexo e ocupação) nos bancos de dados REDD e Smart.

## 6.5 Smart TV

Além da interface principal por NLU, também há uma interface secundária em Smart TV em que os dados serão mostrados de forma mais detalhada.

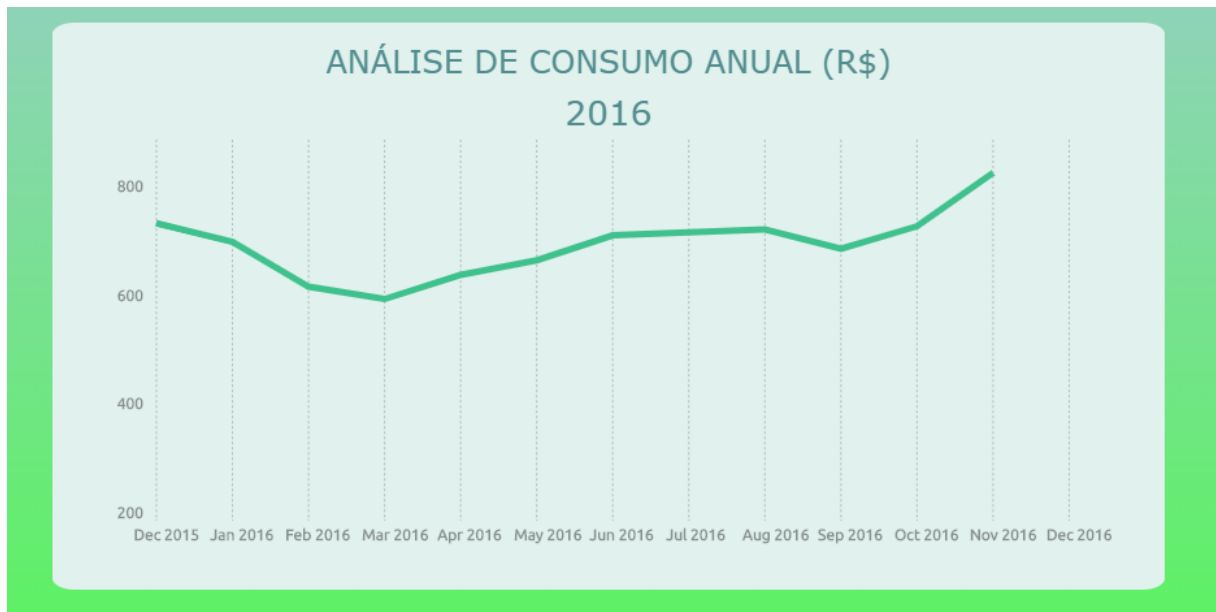
Para a implementação da integração da Interface Conversacional com a Smart TV, diversas soluções foram estudadas e a escolha pela implementação em páginas HTML deu-se por causa da maior liberdade de desenvolvimento e da não dependência do sistema da Smart TV do usuário final.

O objetivo da interface de SmartTV é principalmente de mostrar gráficos e informações pertinentes em relação à requisição do usuário. Com isso em vista, seguiu uma arquitetura voltada a microsserviços que armazena os últimos dados solicitados na rede local do usuário. Para o projeto, é importante ressaltar que a implementação da página web deva funcionar em tempo real - no caso ideal - para que o usuário tenha a real sensação de estar sobre o controle do sistema.

A figura 15 ilustra uma das telas da Smart TV, design foi pensado de forma a ser uma página simples com o foco na informação a ser transmitida. Logo, foi voltada para refletir o estado do sistema de recomendações de forma rápida, fácil de ser interpretada e lúdica.



Figura 15: Tela Página Web



Para desenvolver o Aplicativo Web, foram utilizadas as seguintes tecnologias:

- JavaScript (JS) - É uma linguagem interpretada que é executada através dos browsers, possui uma tipagem fraca e é multi-paradigma. O JS permite a interação do usuário com os aplicativos web, porém sua funcionalidade de estende além disso, de forma que é possível programar funcionalidades ao aplicativo para que ele execute os comportamentos desejados. O JS se insere em um contexto em que outras duas outras tecnologias são fundamentais: HTML e CSS.
- HyperText Markup Language (HTML) - É uma linguagem que estrutura páginas web através de marcas. Pode-se entender o HTML como os substantivos de uma frase, é nele que estão contidas as informações essenciais para a transmissão de informação.
- Cascading Style Sheets (CSS) - mecanismo pelo qual adiciona-se estilo às páginas web. Através do CSS, pode-se transformar uma página de forma a torná-la personalizada ao padrão desejado.

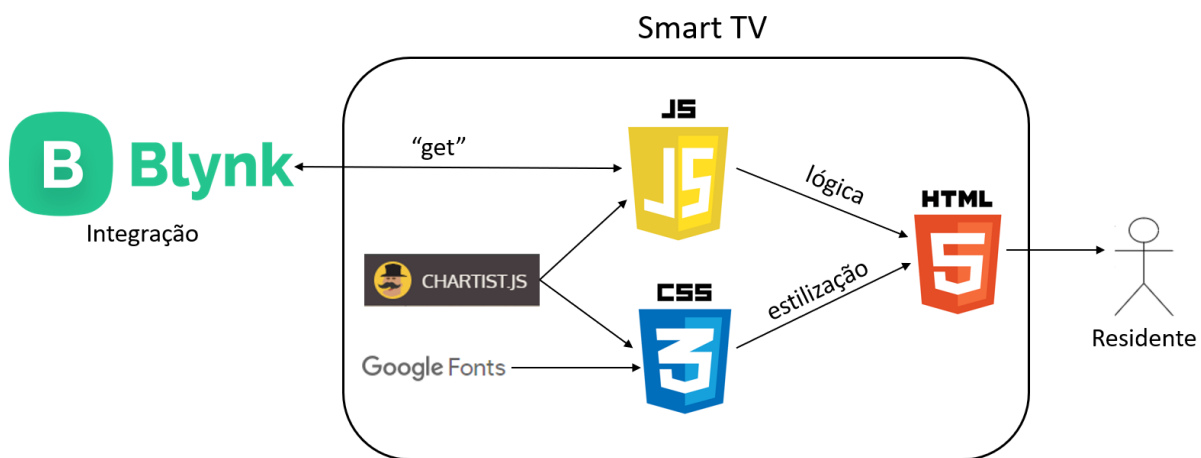
A arquitetura da SmartTV pode ser vista na figura 16 , onde também se encontram duas bibliotecas que foram utilizadas para enriquecer visualmente o Aplicativo Web:

- ChartistJS - para gerar os gráficos do página

- Google Fonts - para obter fontes de letras com um design mais atrativo

A lógica implementada em linguagem JavaScript realizada a parte de obter a informação(*get*) a ser mostrada no site, via *HTTPRequest* feitos a um pino do Blynk. Ao ler o conteúdo deste *get*, realiza-se o tratamento para converter a string recebida em um objeto de JavaScript para então ser fragmentado e analisado. Internamente, o programa direciona as informações para a biblioteca do ChartistJS para gerar o gráfico. Essa lógica está representada pelo diagrama a seguir.

Figura 16: Arquitetura Página Web



## 6.6 Integração dos Módulos de Interface Conversacional e Smart TV

A integração entre a interface conversacional e a Smart TV é realizada por meio do Blynk, uma plataforma de integração de dispositivos de IoT que utiliza pinos virtuais cujos valores podem ser lidos e escritos por dispositivos remotos.

Quando uma intenção é recebida pelo servidor Flask, o sistema altera o estado de um pino virtual do Blynk, de modo que cada intenção tem seu próprio valor:

- Consulta de consumo energético: 0;
- Consulta de consumo energético por aparelho: 1;
- Predição de consumo energético: 2.

A intenção de sugestões de economia de energia não possui um estado específico pois não está integrada com a Smart TV.

A aplicação para Smart TVs realiza a leitura dos pinos virtuais e deste modo pode alterar sua interface de forma responsiva à consulta realizada pelo usuário na interface conversacional.



## 7 TESTES E VALIDAÇÃO DO SISTEMA DE PREDIÇÃO, RECOMENDAÇÕES E INTERFACE CONVERSACIONAL

Neste capítulo são descritas as técnicas e resultados obtidos para testar e validar os componentes e a integração do sistema projetado.

### 7.1 Validação das Bibliotecas de Visualização e Predição de Consumo

Para cada biblioteca, foram realizados testes unitários para verificar o funcionamento esperado de todas as funções disponíveis. Embora a utilização de arcabouços para testes unitários estejam disponíveis em Python, utilizou-se Jupyter Notebooks<sup>1</sup> para automatizar a execução de testes.

Os notebooks desenvolvidos permitem não apenas testar o correto funcionamento do código, mas também a visualização dos dados por meio de gráficos e tabelas, facilitando a depuração do código.

De modo a analisar a performance da predição do consumo por meio do modelo ARIMA, foi calculado o erro relativo entre sua predição e o consumo energético real. Para isto, considerou-se como base de treinamento o período de 1 de janeiro de 2016 a 31 de maio de 2016 do banco de dados público Smart\*.

Utilizando-se como base de validação o período de 1 de junho de 2016 a 30 de junho de 2016, este foi comparado com os resultados do modelo ARIMA sazonal com parâmetros  $(0,1,1)(2,1,3,7)$ , encontrados pelo ajuste automático de parâmetros e sazonalidade. O erro relativo obtido entre a base de validação e o modelo ARIMA é apresentado na Tabela 2.

É possível observar que o erro relativo, embora considerável, está dentro do admissível, visto que há muitos aspectos influenciadores do consumo energético não mensurados, como

---

<sup>1</sup><https://jupyter.org/>

por exemplo a temperatura, umidade, precipitação e outros fatores tanto naturais, quanto também humanos.

Tabela 2: Erro relativo entre modelo ARIMA e consumo real

<b>Data</b>	<b>Erro Relativo (%)</b>
2016-06-01	14.11
2016-06-02	10.29
2016-06-03	28.32
2016-06-04	12.40
2016-06-05	7.87
2016-06-06	11.26
2016-06-07	8.60
2016-06-08	24.74
2016-06-09	32.03
2016-06-10	12.89
2016-06-11	6.54
2016-06-12	20.15
2016-06-13	46.15
2016-06-14	28.82
2016-06-15	16.22
2016-06-16	13.61
2016-06-17	37.82
2016-06-18	26.96
2016-06-19	31.19
2016-06-20	28.15
2016-06-21	1.38
2016-06-22	18.24
2016-06-23	22.40
2016-06-24	0.68
2016-06-25	40.92
2016-06-26	48.00
2016-06-27	30.57
2016-06-28	33.92
2016-06-29	30.35
2016-06-30	44.44

## 7.2 Validação da Interface Conversacional

Para testar o funcionamento adequado da interface conversacional em cada uma das plataformas disponíveis (Google Assistant, Facebook Messenger, LINE e Telegram), foram realizadas consultas de consumo e predição energéticos, observando a saída esperada em cada um destes, podendo ser observados no Apêndice C.

Para testar o correto funcionamento das funções de visualização e predição de con-

sumo, além de verificar se o tempo de processamento não ultrapassa o limite imposto pelo Dialogflow de 10 segundos para o Google Assistant e 5 segundos para as demais plataformas [24], foram realizadas consultas de consumo e predições anuais, verificando a saída esperada dentro do tempo limite de processamento, de modo que a integração entre estes módulos pode ser considerada satisfatória.

### **7.3 Validação da Smart TV**

De modo a validar o correto funcionamento da página web para Smart TVs, foram realizadas consultas de consumo total, consumo individual e predição energética na plataforma Google Assistant, observando a saída esperada na Smart TV.





## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo, são apresentados e discutidos os resultados atingidos e não atingidos pelo projeto do sistema de predição, recomendações e interface conversacional, suas contribuições acadêmicas, e perspectivas de continuidade.

### 8.1 Conclusões do Projeto de Formatura

Em retrospecto, é possível afirmar que o projeto atingiu seus objetivos. Foram realizados o desenvolvimento e a implementação de um sistema de monitoramento do consumo energético em residências conectadas, permitindo ao usuário realizar consultas de consumo, analisar predições diárias, semanais ou mensais, e solicitar sugestões de economia de energia por meio de uma interface conversacional e também com resposta imersiva em smart TV.

O grupo junto aos orientadores participou, com o trabalho desenvolvido neste trabalho de conclusão de curso e no projeto Hedwig, do EDP University Challenge 2019, cujo tema era "A Casa do Futuro". Durante a competição, foi possível alinhar a visão acadêmica e de mercado, e amadurecer a ideia do projeto. O grupo obteve o primeiro lugar na etapa internacional da competição.

### 8.2 Contribuições

Este trabalho é uma continuação do projeto de conclusão de curso Hedwig - Casa Conectada, como visto na Seção 1.1. O projeto Hedwig permitiu acelerar o processo de desenvolvimento, sendo aproveitados os módulos de monitoramento do consumo energético, e a estrutura de IoT da casa conectada, os quais o projeto atual tomou como base para gerar uma solução focada na educação do usuário e economia de energia.

A partir destes, foi desenvolvida e implementada uma interface conversacional, a qual

permite a consulta sobre dados de consumo energético, previsões de consumo e sugestões de economia de energia. Também foi implementada uma interface gráfica para Smart TVs integrada à interface conversacional, mostrando visualmente os dados referentes à consulta feita pelo usuário.

Estas interfaces utilizam as bibliotecas criadas durante o trabalho para visualização e modelos de previsão do consumo energético.

Devido à implementação voltada a microsserviços, todos os módulos podem ser integrados ao projeto Hedwig, de modo a complementar a estrutura da casa conectada, além de servirem como alicerces para trabalhos futuros com um escopo mais aprofundado.

## 8.3 Perspectivas de Continuidade

Dentre as perspectivas de continuidade do projeto, estão o estudo e a análise mais aprofundados de algoritmos e métodos de medição NILM, a criação de um banco de dados público do consumo energético residencial, o estudo e a análise de algoritmos de previsão de consumo não lineares, a substituição da plataforma Dialogflow por outra aberta, como por exemplo o Rasa<sup>1</sup>, a criação de um sistema de alertas sobre picos de consumo, e um sistema de recomendações colaborativo para economia de energia.

O estudo de algoritmos e métodos de medição NILM aumentaria a facilidade de instalação do módulo de monitoramento, de modo que o usuário precise instalar um único módulo para monitorar toda sua residência, e obteria dados de consumo mais granulares, embora seja necessária a construção de um módulo com taxa de amostragem elevada (superior a 1 kHz), e o estudo sobre a implementação de tal tecnologia.

A construção de um banco de dados públicos do consumo energético democratizaria o estudo do consumo energético residencial em condições climáticas brasileiras. Atualmente, a maior parte dos dados de consumo disponíveis publicamente referem-se a instalações americanas ou europeias, como visto na Seção 4.2, as quais possuem climas e perfis de consumo diferentes das brasileiras. Realizar a montagem e coleta de dados de consumo requer grande quantidade de tempo e recursos, de modo que um banco de dados público aceleraria pesquisas na área.

O estudo e análise de algoritmos de previsão de consumo não lineares, como visto na Seção 2.5, permite realizar previsões de curto prazo (diárias ou semanais) mais precisas que o método ARIMA. Entretanto, a implementação e análise de tais algoritmos foge ao

---

<sup>1</sup><https://rasa.com/>

escopo do projeto.

A plataforma Dialogflow desenvolvida pela Google, embora possua uma interface de fácil acesso e desenvolvimento, acaba limitando o alcance do projeto, sendo incompatível por exemplo com o smart speaker Alexa. Uma alternativa portanto seria o uso de uma plataforma aberta, como o Rasa. A análise e desenvolvimento para esta plataforma já foi realizada por outro projeto de conclusão de curso [25], podendo ser aproveitado neste projeto.

Um sistema de alertas sobre picos de consumo total permitiria ao usuário ganhar maior consciência sobre seus hábitos de consumo e suas respectivas consequências. Para gerar tais alertas, é possível utilizar informações do histórico de consumo, e não apenas isto, mas devido à granularidade de dados disponível, é também exequível realizar alertas sobre a perda de eficiência de equipamentos.

Para implementar um sistema de recomendações colaborativo para economia de energia como visto na Seção 2.4, é necessária uma base de dados maior, além de informações pessoais básicas sobre o usuário (idade, sexo, ocupação), as quais não estão disponíveis na maioria dos bancos de dados de consumo energético públicos. Como ganhos, o sistema permitiria realizar recomendações de economia mais assertivas de acordo com o perfil do usuário.



## REFERÊNCIAS

- 1 MCKINSEY & COMPANY. *There's No Place Like A Connected Home*. 2016. Disponível em: [http://www.mckinsey.com/spContent/connected\\_homes/index.html](http://www.mckinsey.com/spContent/connected_homes/index.html). Acesso em: 25 mai. 2019.
- 2 NATIONAL PUBLIC MEDIA. *The Smart Audio Report: Spring 2019*. 2019. Disponível para download em: <https://www.nationalpublicmedia.com/smart-audio-report/latest-report/>. Acesso em: 3 dez. 2019.
- 3 ALLIED MARKET RESEARCH. *SMART SPEAKER MARKET- GLOBAL OPPORTUNITY ANALYSIS AND INDUSTRY FORECAST, 2018-2025*. 2018. Disponível em: <https://www.alliedmarketresearch.com/smart-speaker-market>. Acesso em: 3 dez. 2019.
- 4 YASSUDA, D. S. et al. *Hedwig - Casa Conectada*. Dissertação (Dissertação em Engenharia da Computação) — USP, São Paulo, 2017.
- 5 SERRENHO, T. R.; BERTOLDI, P. *Smart home and appliances: State of the art*. [S.l.], 2019.
- 6 FANG, X. et al. Smart grid — the new and improved power grid: A survey. *IEEE Communication Surveys & Tutorials*, v. 14, n. 4, 2012.
- 7 BARAI, G. R.; KRISHNAN, S.; VENKATESH, B. Smart metering and functionalities of smart meters in smart grid - a review. *IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC)*, 2015.
- 8 ENGEL, D.; EIBL, G. Wavelet-based multiresolution smart meter privacy. *IEEE Transactions on Smart Grid*, v. 8, n. 4, 2017.
- 9 ADOMAVICIUS, G.; TUZHILIN, A. Toward the next generation of recommender systems: A survey of the state-of-the-art and possible extensions. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, v. 17, 2005.
- 10 ÇANO, E.; MORISIO, M. Hybrid recommender systems: A systematic literature review. *Intelligent Data Analysis*, v. 21, 2017.
- 11 LUO, F. et al. Service recommendation in smart grid: Vision, technologies, and applications. *9th International Conference on Service Science*, 2016.
- 12 MATHIYALAGAN, P.; SHANMUGAPRIYA, A.; GEETHU, A. V. Smart meter data analytics using r and hadoop. *IEEE International Conference on Electro Information Technology*, 2017.
- 13 AHMAD, A. et al. Short-term load forecasting in smart grids: An intelligent modular approach. *Energies*, v. 12, p. 164, 01 2019.

- 14 HART, G. W. Nonintrusive appliance load monitoring. *Proceedings of the IEEE*, v. 80, 1992.
- 15 ZEIFMAN, M.; ROTH, K. Nonintrusive appliance load monitoring: Review and outlook. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, v. 57, 2011.
- 16 SENSE. *The Sense Home Energy Monitor*. 2015. Disponível em: <https://sense.com/>. Acesso em: 20 jun. 2019.
- 17 ENETICS, INC. *SPEED<sup>TM</sup> System (NILM)*. 1996. Disponível em: <https://www.enetics.com/Solutions/Electric/Load-Disaggregation-NILM/SPEED-Products>. Acesso em: 20 jun. 2019.
- 18 CARVALHO, P. Smart metering deployment in brazil. *Energy Procedia*, v. 83, 12 2015.
- 19 NILM WIKI. *Companies offering NILM products and services*. 2019. Disponível em: <http://wiki.nilm.eu/companies.html>. Acesso em: 30 nov. 2019.
- 20 KOLTER, J. Z.; JOHNSON, M. J. Redd: A public data set for energy disaggregation research. *SustKDD workshop on Data Mining Applications in Sustainability*, 2011.
- 21 BARKER, S. et al. Smart\*: An open data set and tools for enabling research in sustainable homes. *SustKDD workshop on Data Mining Applications in Sustainability*, 2012.
- 22 SYSTEMS and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — System and software quality models. [S.l.], 2011.
- 23 SPENCE, R. *Information Visualization: an introduction*. [S.l.]: Springer, 2014.
- 24 GOOGLE CLOUD. *How fulfillment works*. 2019. Disponível em: [https://cloud.google.com/dialogflow/docs/fulfillment-how#webhook\\_response](https://cloud.google.com/dialogflow/docs/fulfillment-how#webhook_response). Acesso em: 30 nov. 2019.
- 25 YOSHIDA, D. M. Y.; JUNIOR, E. A. G.; SILVA, V. G. da. Smart home para idosos. trabalho de conclusão de curso (graduação em engenharia de computação) - escola politecnica, universidade de são paulo, são paulo. 2019.

# APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO SOBRE VIABILIDADE E PARTES INTERESSADAS

1. Qual é a sua data de nascimento?
2. Qual é o seu grau de escolaridade?
  - Ensino fundamental incompleto
  - Ensino fundamental completo
  - Ensino médio incompleto
  - Ensino médio completo
  - Ensino superior incompleto
  - Ensino superior completo
  - Pós-graduação
  - Doutorado
3. Você monitora o consumo de energia elétrica da sua residência?
  - Sim
  - Não
4. Você gostaria de saber o quanto de energia cada um dos aparelhos eletrônicos de sua casa estão gastando?
  - Sim
  - Não

5. Qual dentre os aparelhos eletrônicos abaixo você tem o maior interesse em monitorar o consumo de energia?

- Televisão
- Máquina de lavar roupa
- Máquina de lavar louça
- Micro-ondas
- Video game
- Lâmpadas
- Geladeira
- Cafeteira
- Chuveiro elétrico
- Ferro de passar
- Portão elétrico

6. Se fosse possível visualizar dados sobre o consumo de aparelhos eletrônicos da sua residência, de que forma você gostaria de visualizar esses dados? (marque todas as opções que forem interessantes para você)

- Relatório mensal com o gasto de cada aparelho
- Relatório diário com o gasto de cada aparelho
- Gasto de cada aparelho em tempo real
- Gráficos mostrando o consumo de energia de cada aparelho em um certo período de tempo
- Gráfico mostrando o consumo total da sua residência em um certo período de tempo

7. Você prefere que os dados de consumo de energia fiquem disponíveis em:

- Um site na web
- Um aplicativo para smartphones
- Nas duas opções anteriores

8. Caso algum aparelho eletrônico de sua residência apresente um gasto muito superior ao gasto padrão para esse aparelho, você gostaria de receber uma notificação de alerta?



- Sim
  - Não
9. Caso você tenha marcado "sim" na pergunta anterior, você prefere que essa notificação seja feita via:
- SMS
  - E-mail
  - As duas opções anteriores
10. Supondo que sua residência fosse uma casa inteligente capaz de se conectar à internet, obter informações sobre todos os aparelhos eletrônicos presentes nela e também capaz de receber comandos por voz: qual pergunta, com relação ao consumo de energia, você gostaria de fazer a ela?
11. De que forma você gostaria que sua residência respondesse à sua pergunta?
- SMS
  - E-mail
  - Resposta em áudio
  - Resposta disponibilizada em um site
  - Resposta disponibilizada em um aplicativo
  - Resposta disponibilizada na tela da televisão



## APÊNDICE B – ARQUIVOS DE COMUNICAÇÃO ENTRE DIALOGFLOW E FLASK

request.json

---

```
{
  "responseId": "6916d12c-95c0-453b-91a4-c7f5dbcc177d-0220f7b7",
  "queryResult": {
    "queryText": "QUanto consumi este ano?",
    "parameters": {
      "date-period": {
        "startDate": "2019-01-01T00:00:00-02:00",
        "endDate": "2019-12-31T23:59:59-03:00"
      },
      "date": ""
    },
    "allRequiredParamsPresent": true,
    "fulfillmentText": "VocÃa consumiu 10 kWh no perÃodo de 2019-01-01/2019-12-31",
    "fulfillmentMessages": [
      {
        "platform": "ACTIONS_ON_GOOGLE",
        "simpleResponses": {
          "simpleResponses": [
            {
              "textToSpeech": "VocÃa consumiu 254 kWh no perÃodo de 2019-01-01/2019-12-31"
            }
          ]
        }
      }
    ]
  }
}
```

```

    },
    {
      "platform": "ACTIONS_ON_GOOGLE",
      "basicCard": {
        "image": {
          "imageUri": "https://i.imgur.com/ROPVpFJ.png",
          "accessibilityText": "Consumo"
        }
      }
    },
    {
      "platform": "ACTIONS_ON_GOOGLE",
      "suggestions": {
        "suggestions": [
          {
            "title": "Como posso economizar?"
          }
        ]
      }
    },
    {
      "text": {
        "text": [
          "Você consumiu 10 kWh no período de  
2019-01-01/2019-12-31"
        ]
      }
    }
  ],
  "intent": {
    "name": "projects/boaenergia-nnadbh/agent/intents/3bdf4ab0-f96  
a-4cf8-bc05-85c6e2ae68f3",
    "displayName": "Consumo"
  },
  "intentDetectionConfidence": 1,
  "diagnosticInfo": {
    "webhook_latency_ms": 261
  },

```

```

    "languageCode": "pt-br"
  },
  "webhookStatus": {
    "code": 5,
    "message": "Webhook call failed. Error: 404 Not Found."
  }
}

```

---

response.json

---

```

{
  "fulfillmentText": "VocÃª consumiu...",
  "fulfillmentMessages": [
    {
      "text": {
        "text": [
          "VocÃª consumiu..."
        ]
      }
    },
    {
      "image": {
        "imageUri": "https://res.cloudinary.com/dqmfcku4a/image/upload/plot.png"
      }
    },
    {
      "platform": "ACTIONS_ON_GOOGLE",
      "simpleResponses": {
        "simpleResponses": [
          {
            "textToSpeech": "VocÃª consumiu..."
          }
        ]
      }
    },
    {
      "platform": "ACTIONS_ON_GOOGLE",

```

```

    "basicCard": {
      "image": {
        "imageUri": "https://res.cloudinary.com/dqmfcku4a/image/
upload/plot.png",
        "accessibilityText": "gráfico de consumo"
      }
    }
  },
  {
    "platform": "ACTIONS_ON_GOOGLE",
    "suggestions": {
      "suggestions": [
        {
          "title": "Como posso economizar?"
        },
        {
          "title": "Quanto vou pagar no mês?"
        }
      ]
    }
  },
  {
    "text": {
      "text": [
        "Você consumiu..."
      ]
    },
    "platform": "LINE"
  },
  {
    "image": {
      "imageUri": "https://bb5dfa9b.ngrok.io/media?file=consbe9a1df7
-ed54-4050-8c14-0712567f7f09-ee1dc704.png"
    },
    "platform": "LINE"
  },
  {
    "payload": {

```

```

"line": {
  "type": "template",
  "template": {
    "defaultAction": {
      "type": "uri",
      "uri": "http://example.com/page/123",
      "label": "View detail"
    },
    "type": "buttons",
    "text": "Escolha uma opção",
    "actions": [
      {
        "data": "action=buy&itemid=123",
        "type": "postback",
        "label": "Como economizar"
      },
      {
        "data": "action=add&itemid=123",
        "type": "postback",
        "label": "Previsão de consumo"
      },
      {
        "type": "uri",
        "uri": "http://example.com/page/123",
        "label": "Ver detalhes"
      }
    ],
    "thumbnailImageUrl": "https://images.justlanded.com/
event_images/Tets/photo/events_original_45195_42919.jpg",
    "title": "Consumo",
    "imageBackgroundColor": "#FFFFFF",
    "imageSize": "cover",
    "imageAspectRatio": "rectangle"
  },
  "altText": "This is a buttons template"
}
},
"platform": "LINE"

```

```
    }  
  ]  
}
```

---



# APÊNDICE C – TELAS DAS INTERFACES CONVERSACIONAIS

Figura 17: Tela da interface no aplicativo Google Assistant

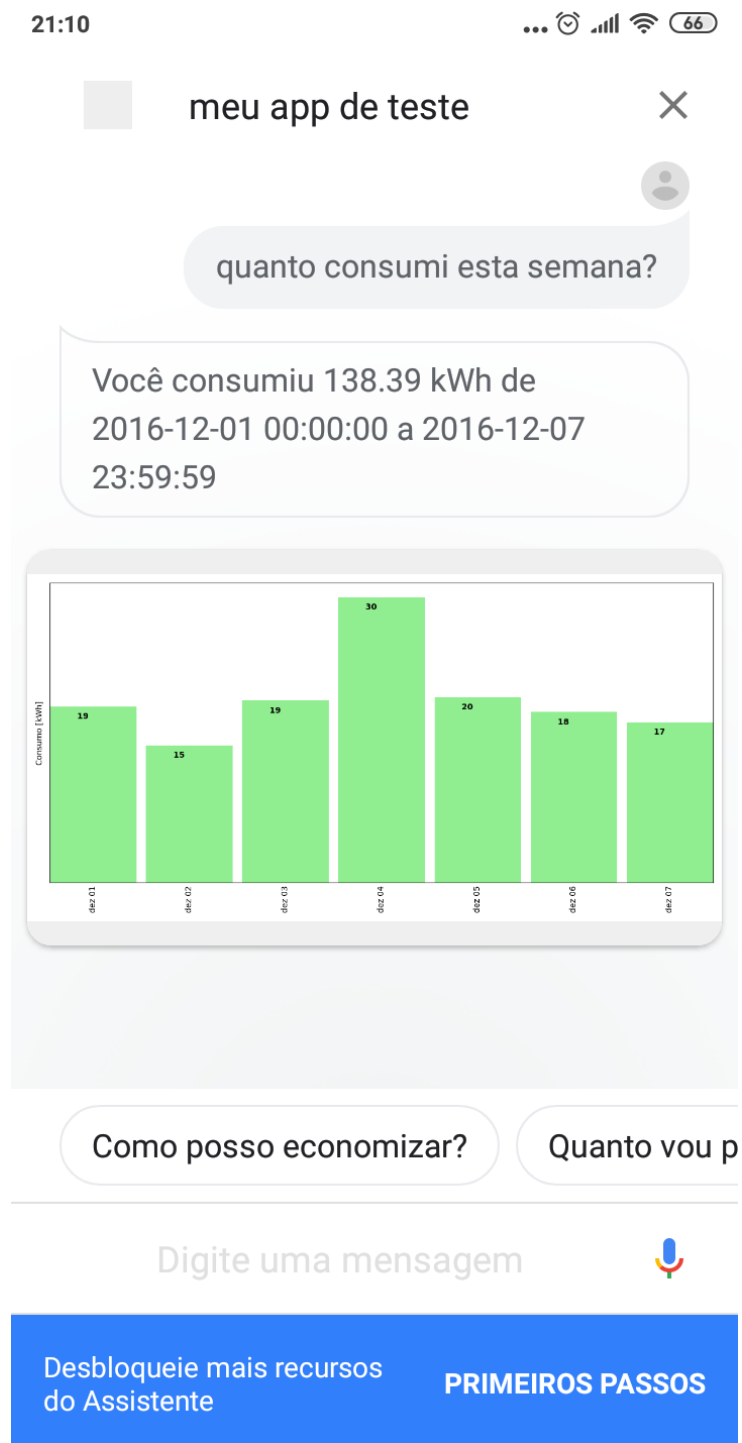


Figura 18: Tela da interface na página web Facebook Messenger

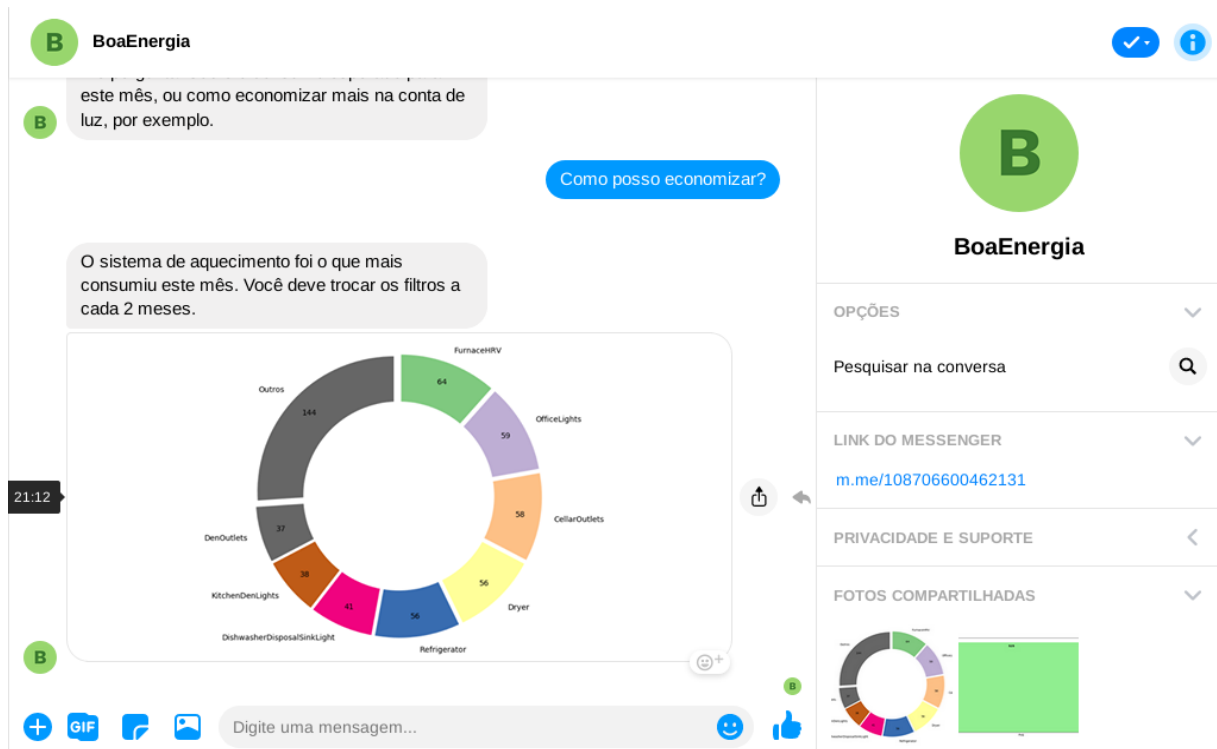


Figura 19: Tela da interface no aplicativo LINE

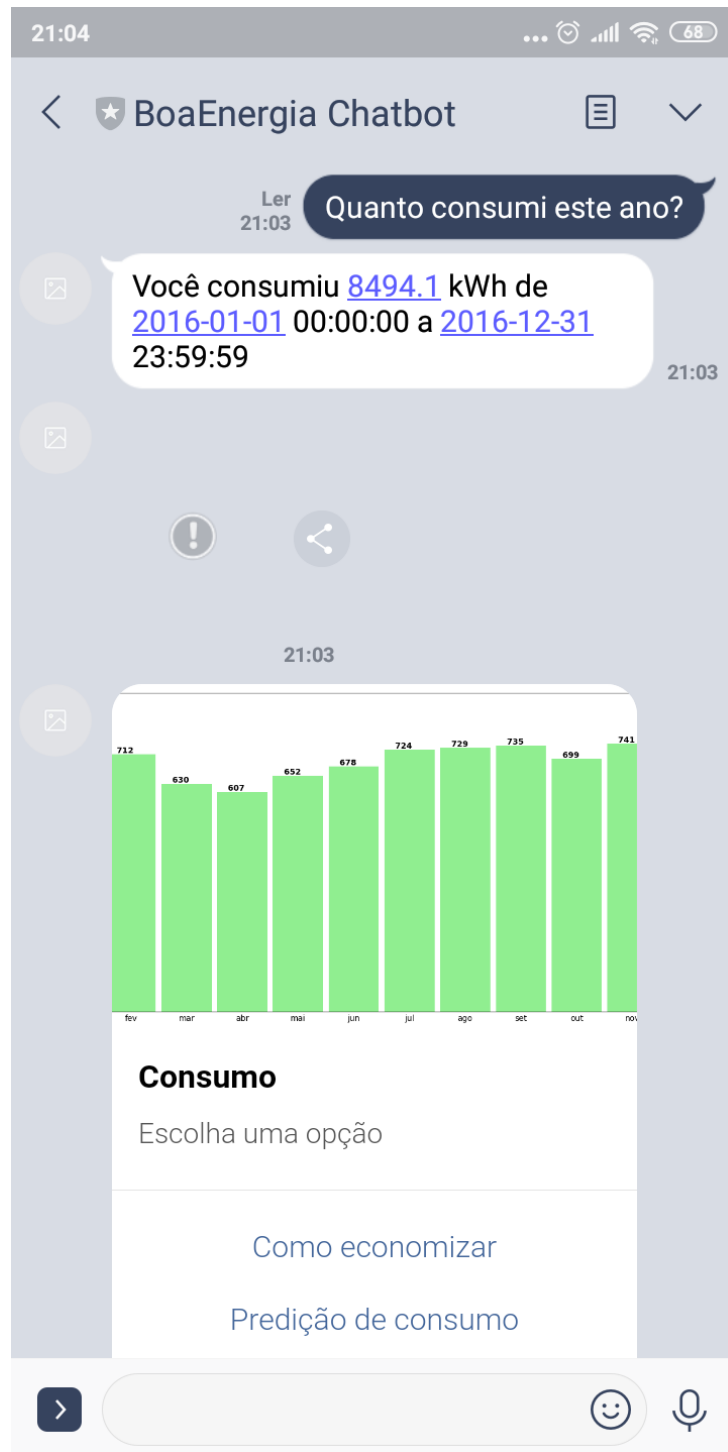


Figura 20: Tela da interface no aplicativo Telegram

