INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

GUILHERME PAULI

Um Estudo Sobre o Potencial de Dispositivos IOT no Planejamento Integrado de Recursos Aplicado no Sistema de Distribuição de Energia Elétrica

Florianópolis - SC
2018

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

GUILHERME PAULI

UM ESTUDO SOBRE O POTENCIAL DE DISPOSITIVOS IOT NO PLANEJAMENTO INTEGRADO DE RECURSOS APLICADO NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

FLORIANÓPOLIS, JUNHO DE 2018.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

GUILHERME PAULI

UM ESTUDO SOBRE O POTENCIAL DE DISPOSITIVOS IOT NO PLANEJAMENTO INTEGRADO DE RECURSOS APLICADO NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro(a) Eletricista.

Professor Orientador: Everthon Taghori Sica, Dr. Eng.

FLORIANÓPOLIS, JUNHO DE 2018.

UM ESTUDO SOBRE O POTENCIAL DE DISPOSITIVOS IOT NO PLANEJAMENTO INTEGRADO DE RECURSOS APLICADO NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

GUILHERME PAULI

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro(a) Eletricista e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 22 de junho, 2018.

Banca Examinadora:

Everthon Taghori Sica, Dr. Eng.

Edison Antônio Cardoso Aranha Neto, Dr. Eng.

Daniel Tenfen, Dr. Eng.

Scanned with CamScanner

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, pois sem vosso auxílio eu não teria paz e força para lutar nos momentos mais difíceis.

Dedico este trabalho aos meus pais Érico Pauli e Arlete Bernadete Junkes Pauli que me apoiaram desde o início da minha vida acadêmica e nunca duvidaram do meu potencial. Obrigado aos meus pais pela paciência e apoio emocional nos momentos de maior dificuldade. Que sempre estiveram presentes nos momentos de alegria, tristeza e estresse.

Dedico ao meu irmão que sempre esteve disposto a dar apoio moral em todos os momentos. Não apenas momentos de grande dificuldade escolar, mas também dificuldades do dia a dia. E que sempre que este pedia minha ajuda, também me ajudava a aprender e também exercitar o auto aprendizado.

Dedico a toda a minha família, pelo apoio em todos os momentos, nas tomadas de decisão e por me mostrarem que o melhor caminho é o caminho da educação, e que grandes profissionais não são feitos apenas dentro da sala de aula, mas que uma família também lhe ajuda a traçar o caminho.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Everthon Taghori Sica pela paciência e apoio prestados não somente na elaboração desde Trabalho de Conclusão de Curso, mas desde o início da caminhada acadêmica. Seus ensinamentos com certeza me fizeram crescer cada vez mais como profissional e também como cidadão.

Ao Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAE) pela excelente prestação de serviço e excelentes professores, sempre promovendo o raciocínio e solução de problemas. Agradeço não somente por esta caminhada acadêmica do curso de Graduação em Engenharia Elétrica, mas também por me acolher desde o curso técnico integrado em Eletrotécnica.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC), pelo excelente apoio prestado a todos os seus alunos, mantendo sempre a participação destes nas decisões importantes do campus. Pela infraestrutura ofertada juntamente com o DAE para proporcionar a melhor qualidade de ensino possível, com laboratórios e materiais de excelente qualidade.

A Häme University of Applied Sciences (HAMK) por me acolher e permitir a participação em projetos de pesquisa desenvolvidos juntamente com o IFSC através do Programa de Intercâmbio Internacional para alunos do IFSC (PROPICIE). Sendo esses projetos de imensa ajuda para meu crescimento pessoal e profissional.

Ao meu orientador na universidade HAMK, Joni Kukamäkki, por todo apoio durante a elaboração do projeto de pesquisa, me fornecendo tudo que fosse necessário para a elaboração do mesmo e estando sempre disposto a discutir ideias a fim de aprimorar as ideias anteriores.

Ao meu grande amigo Antti, que juntamente com Joni me apoiou na elaboração do projeto de pesquisa junto a universidade parceira HAMK.

Aos demais amigos que sempre me apoiaram e me incentivaram a seguir meus sonhos e acreditar no meu potencial.

“O único lugar onde o sucesso vem antes do trabalho é no dicionário.”
(Albert Einstein)

“A maior recompensa para o trabalho do homem não é o que ele ganha com isso,
mas o que ele se torna com isso.” (John Ruskin)

RESUMO

Até o início dos anos 1970, a atividade de planejamento do setor elétrico tinha uma lógica simples, atender a demanda crescente pelo menor custo econômico, já as questões ambientais eram consideradas secundárias a este desenvolvimento. No entanto, ao longo dos anos, percebeu-se que as questões ambientais também representavam um limitador ao desenvolvimento econômico, surgindo assim o Planejamento Integrado de Recursos (PIR). A natureza complexa desse tipo de planejamento, que procura satisfazer múltiplos objetivos econômicos, ambientais, técnicos e sociais tornou-se um desafio, especialmente com o advento das redes inteligentes e unidades de geração distribuída. Com o uso da Internet das coisas (IoT) e dispositivos eletrônicos este processo de planejamento, e também, operação do sistema buscando atender a esses múltiplos objetivos, incluindo externalidades ambientais, foi facilitado e melhorado. Opções pelo lado da demanda como controle de carga por uso final, ações em eficiência energética, resposta da demanda e controle da tarifa branca puderam ser implementadas de maneira simplificada, aumentando a eficácia dessas ações. Controle de serviços energéticos foram transformados em alternativas viáveis, o que antes era teoria, agora pode ser colocado em prática.

Palavras-chave: Planejamento Integrado de Recursos Energéticos. Dispositivos IoT. Gerenciamento pelo Lado da Demanda. Eficiência Energética.

ABSTRACT

Until the early 1970s, planning activity in the electricity sector had a simple logic, meeting growing demand for the least economic cost, and environmental issues were considered secondary to this development. However, over the years, it was realized that environmental issues also represented a limiting factor to economic development, resulting in Integrated Resource Planning (IRP). The complex nature of this type of planning, which seeks to meet multiple economic, environmental, technical and social objectives has become a challenge, especially with the advent of smart grids and distributed generation units. With the use of the Internet of Things (IoT) and electronic devices this planning process, and operation of the system seeking to meet these multiple objectives, including environmental externalities, has been facilitated and improved. Demand side options such as end-use load control, energy efficiency actions, demand response and white tariff control can be implemented in a simplified way, increasing the effectiveness of these actions. Control of energy services has been transformed into viable alternatives, what was once theory, now can be implemented.

Keywords: Integrated Energy Resources Planning. IoT Devices. Demand Side Management. Energy Efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – O modelo tradicional de planejamento elétrico a custo mínimo. 18
Figura 2 – Custo de produção e modelo de carga de “menor custo” no PIR. 21
Figura 3 – Diagrama ilustrativo do processo do PIR. 28
Figura 4 – Processo de integração no PIR.....29
Figura 5 – O fluxo da energia. 32
Figura 6 – Objetivos de curvas de carga para o GLD. 35
Figura 7 – Modelo do projeto INERTIA. 39
Figura 8 – Aplicações de IoT.....43
Figura 9 – Monitoramento e controle utilizando dispositivos IoT e banco de dados em nuvem. 45
Figura 10 – Processo de coleta e envio de dados do smart meter.....47
Figura 11 – Arquitetura de sistema de medição de serviços energéticos por dispositivos IoT. 50
Figura 12 – Diagrama de sequência de operações.....51
Figura 13 – Diagrama de blocos de um sistema baseado em DR para aplicação residencial com geração de energia por fontes alternativas.....60
Figura 14 - Comparativo entre Tarifa Branca e Tarifa Convencional. 61
Figura 15 – Arquitetura Azure IoT HUB..... **Erro! Indicador não definido.**
Figura 16 – Raspberry Pi Model 3.....69
Figura 17 – MCP3008. 70
Figura 18 - Diferenças entre os protocolos de comunicação.....71
Figura 19 - Sensor de luminosidade TSL 2561. 72
Figura 20 - Conexões entre Raspberry Pi e TSL 2561.....74
Figura 21 - Conexões entre Raspberry Pi, MCP3008 e PT-1000.....75
Figura 22 – Fluxograma coleta de dados de iluminância. 77
Figura 23 - Fluxograma da coleta de dados de temperatura.....78
Figura 24 – Gráfico do Serviço Energético de Iluminação. 80
Figura 25 – Gráfico do Serviço Energético Térmico.....81

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CMO – Custo Marginal da Operação

DR – Resposta da Demanda (do inglês, *Demand Response*)

GD – Geração Distribuída

GLD – Gerenciamento pelo Lado da Demanda

GLO – Gerenciamento pelo Lado da Oferta

IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina

IoT – Internet das Coisas (do inglês, *Internet of Things*)

PE – Planejamento Energético

PIR – Planejamento Integrado de Recursos

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PROINFA – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas

UTE – Usina Termoelétrica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 12
1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA 13
1.2 JUSTIFICATIVA 14
1.3 OBJETIVO GERAL 15
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 15
Ĥ HYPERLINK \L "_TOC516471616" 1.5 ..... METODOLOGIA
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO 16

2 PLANEJAMENTO INTEGRADO DE RECURSOS 18
2.1 PLANEJAMENTO TRADICIONAL DO SETOR ELÉTRICO 18
2.2 PLANEJAMENTO INTEGRADO DE RECURSOS ENERGÉTICOS 20
2.2.1 Modelos de Previsão da Demanda e Componentes Básicos do PIR 23
2.2.1.1 Modelo Econométrico 23
2.2.1.2 Modelo de Usos-finais 25
2.2.1.3 Metodologia do PIR 27
2.2.1.4 Componentes Básicos do PIR 29
2.2.2 Gerenciamento pelo Lado da Oferta (GLO) 31
2.2.3 Gerenciamento pelo Lado da Demanda (GLD) 34
2.2.3.1 Gestão de Carga 35
2.2.3.2 Programas de Eficiência Energética 36
2.2.3.3 Resposta da Demanda 36
2.3 CONCLUSÃO 40

3 O PLANEJAMENTO INTEGRADO DE RECURSOS UTILIZANDO DISPOSITIVOS IOT 41
3.1 DISPOSITIVOS IOT – CONCEITOS GERAIS 42
3.1.1 Introdução sobre dispositivos IoT 42
3.1.2 Banco de dados em nuvem 43
3.1.3 Smart Meter 45
3.2 ABORDAGEM DO GLD COM DISPOSITIVOS IOT 48
3.2.1 Controle de serviços energéticos por dispositivos IoT 49
3.2.1.1 Controle dos serviços energéticos – iluminação e térmicos 51
3.2.2 Controle e monitoramento da energia elétrica por dispositivos IoT (Gestão Elétrica) 53
3.2.3 Previsão de carga futura (gestão energética) 55
3.3 ABORDAGEM DA *RESPOSTA DA DEMANDA* COM INSERÇÃO DA TARIFA BRANCA E MONITORAMENTO POR DISPOSITIVOS IOT 57
3.3.1 Resposta da Demanda 57
3.3.2 Tarifa branca de energia elétrica 61
3.3.3 Análise crítica de desempenho de sistemas de resposta da demanda e da Tarifa Branca com dispositivos IoT 62
3.4 CONCLUSÃO 64

4 ESTUDO DE CASO DA UTILIZAÇÃO DE DISPOSITIVOS IOT PARA CONTROLE DOS SERVIÇOS ENERGÉTICOS DE ILUMINAÇÃO E TÉRMICOS 66
4.1 OBJETIVO GERAL DA IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA ..... **ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.**
4.1.1 Objetivos Específicos ..... Erro! Indicador não definido.
4.2 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS SECUNDÁRIAS 66
4.2.1 IoT HUB Azure 67
4.2.2 Microsoft Power Bi 68
4.3 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS 68
4.3.1 Raspberry Pi 68
4.3.1.1 MCP – 3008 (comunicação analógica) 70
4.3.1.2 Comunicação I2C o Raspberry Pi (máster/slaves) 71
4.3.2 Sensor de Luminosidade – TSL 2561 72
4.3.2.1 Coletando dados de iluminância (Lux) 72
4.3.2.2 Conexões Elétricas 73
4.3.3 Sensor de Temperatura – PT-1000 74
4.4 FLUXOGRAMA DOS ALGORITMOS IMPLEMENTADOS 76
4.5 TESTES EM LABORATÓRIO E RESULTADOS 79
4.6 CONCLUSÃO 81
5 CONCLUSÃO 83
REFERÊNCIAS 86

1 INTRODUÇÃO

A grande crise do petróleo na década de 70, combinada com uma alta taxa de tributos e impostos, pôs fim a era da energia barata. Isso acarretou em um grande impacto econômico para os países em desenvolvimento, tornando-se uma limitação ao seu crescimento em dois grandes setores econômicos: infraestrutura e indústrias de base.

Países em desenvolvimento econômico requerem acesso a uma grande quantidade de energia (principalmente a energia elétrica). Isto decorre principalmente do fato de o aumento da urbanização e da industrialização criarem maiores demandas por energia. Além disso, a eletrificação de áreas mais remotas, proporcionando o acesso de todos à energia elétrica, é um dos programas mais difundidos, melhorando significativamente a qualidade de vida da população.

Uma rápida expansão na produção de energia, leva a impactos ambientais, sendo que estes impactos também podem ser considerados como limitadores no desenvolvimento econômico do país. A produção de energia em si, seja por hidrelétricas ou queima de combustíveis fósseis, causa impactos ambientais. No passado, problemas ambientais eram considerados como questões secundárias, e as variáveis analisadas no momento da tomada de decisão possuíam somente um cunho econômico-financeiro. Porém, recentemente, os impactos ambientais e sociais estão ganhando cada vez mais espaço dentro dos estudos realizados.

Um grande problema dos países em desenvolvimento, além da grande necessidade de produção de energia, é também o uso da energia de forma descontrolada. Surgiu, portanto, o conceito de eficiência energética. Esse conceito busca a utilização da energia de forma racional, buscando o máximo aproveitamento da mesma.

Através do uso racional da energia, conscientização dos consumidores e produção de equipamentos mais eficientes, chega-se a uma conclusão simples: economizar energia é mais barato do que construir uma nova usina. Conclui-se com isso que aplicando técnicas de eficiência energética poderá ser adiado a construção

de novas usinas e linhas de transmissão por mais alguns anos. Tudo isso, incentivando o Gerenciamento pelo Lado da Demanda (GLD), conscientizando consumidores nos mais diversos tipos de usos finais da energia e buscando sempre a máxima eficiência.

Nesse contexto de aplicação com iniciativas de eficiência energética se faz necessário, portanto, um novo tipo de planejamento. Este planejamento leva em conta agora não somente as questões econômicas-financeiras como mencionado anteriormente, mas também questões ambientais, sociais, além de uma análise criteriosa de cada um dos usos finais para os quais a energia está sendo aplicada.

Esse planejamento que vem sendo amplamente utilizado é conhecido como Planejamento Integrado de Recursos Energéticos (PIR). “PIR é a combinação de opções de desenvolvimento de fontes de energia e Gerenciamento pelo Lado da Demanda (GLD) para fornecer energia ao menor custo, incluindo custos ambientais e sociais.” (SWISHER; JANNUZZI; REDLINGER, 1997)

Como auxiliar no GLD e também de Gerenciamento pelo Lado da Oferta (GLO) dispositivos eletrônicos e informáticos podem ser de grande valia. São os conhecidos dispositivos IoT (*Internet of Things*). Estes dispositivos permitem um acompanhamento em tempo real de dados de geração e, sobretudo, da demanda de energia. Estes dados podem ser armazenados em bancos de dados online e serem acessados de qualquer parte do mundo, facilitando o acompanhamento de geração e da demanda, assim como também a tomada de decisões no quesito de operação das plantas geradoras.

Estes dispositivos poderão contribuir decisivamente para a implementação do PIR, com possibilidade e criação de um banco de dados com histórico de geração e da demanda de energia, facilitando a projeção da demanda e oferta para os próximos anos, além do controle por uso final no consumo de energia.

1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

A operação e planejamento de um sistema elétrico de distribuição sob a ótica do PIR transcende de uma análise com apenas um cunho econômico para uma análise multicritério. Inicialmente a operação do sistema energético era feita apenas

visando o menor custo para o atendimento a demanda, porém iniciativas e medidas de eficiência energética mudaram essa visão. Agora, além da operação visando o menor custo, é também feita a análise dos impactos ambientais e sociais devido a operação do sistema.

Com a crescente demanda por energia, as políticas de incentivo a eficiência energética e as novas estruturas tarifárias também se fazem presentes no PIR. O Gerenciamento pelo Lado da Demanda (GLD) vem sendo cada vez mais difundido e necessário para o correto levantamento de demanda e também um resultado mais confiável por parte do PIR.

1.2 JUSTIFICATIVA

A demanda por energia aumenta cada dia mais, principalmente por conta da industrialização, urbanização e a utilização cada vez maior de equipamentos para promover o conforto do ser humano. Se a demanda por energia cresce, é necessário, portanto, a implantação de políticas de expansão da matriz geradora, ou medidas de eficiência energética aplicada diretamente aos usos finais da energia.

O Planejamento Integrado de Recursos se faz, portanto, cada vez mais importante no planejamento da matriz energética para as próximas gerações. Agregando variáveis econômicas, sociais e ambientais, busca a operação, manutenção e ampliação do sistema energético de maneira eficiente, eficaz e efetiva. Promovendo inciativas pelo lado da demanda e oferta de energia, buscando atendimento da demanda com o menor impacto econômico, social e ambiental possível.

Numa era onde tudo e todos estão constantemente conectados ou se conectando, nada mais sensato que utilizar esta tecnologia também para beneficiar os sistemas elétricos e energéticos. O conceito de Internet das Coisas (do inglês *Internet of Things*) vêm sendo amplamente utilizado no controle das chamadas Cidades Inteligentes (do inglês *Smart Cities*). Este novo conceito busca um controle pelo lado da demanda e da oferta de energia, com acompanhamento em tempo real dos dados de geração e consumo. Acarretando, portanto, em uma melhor análise e planejamento integrado dos recursos energéticos.

1.3 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo analisar o potencial dos dispositivos IoT dentro do Planejamento Integrado de Recursos Energéticos (PIRE) para o controle pelo lado da demanda e a Resposta da Demanda, previsão de carga futura e controle de parâmetros elétricos, sendo possível assim o Planejamento Integrado de Recursos alcançar resultados e soluções cada vez mais eficientes, eficazes e efetivas.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Dado o objetivo geral, este pode ser dividido em uma série de objetivos específicos, estando estes elencados abaixo:

a) Analisar os recursos energéticos primários e secundários e inclusão de externalidades ambientais no GLO;

b) Analisar o GLD e evolução para Resposta da Demanda;

c) Analisar o uso de dispositivos IoT no GLD, possibilitando a evolução da gestão dos parâmetros elétricos para a demanda;

d) Analisar a aplicabilidade de dispositivos IoT na Resposta da Demanda em conjunto com a Tarifa Branca.

1.5 METODOLOGIA

Com o desenvolvimento de novas tecnologias e a constante inserção de novos dispositivos às redes de transmissão e distribuição de energia, se faz necessário um melhor planejamento da expansão e da utilização da capacidade já instala no sistema elétrico.

No que diz respeito ao planejamento, levanta-se neste Trabalho de Conclusão de Curso o PIR. Este planejamento visa o atendimento a crescente demanda por energia buscando atender múltiplos objetivos, tanto econômicos como também ambientais, sociais e políticos. Ressalta-se ainda como uma das ferramentas do PIR, programas de eficiência energética e resposta da demanda.

Para tanto, fez-se uma introdução para embasamento teórico sobre os principais conceitos, ferramentas e análises do PIR. Em seguida, apresentou-se a utilização de dispositivos IoT dentro do PIR, trazendo suas funcionalidades, vantagens e desvantagens.

Para finalizar, montou-se uma experiência prática, onde dados de iluminação e temperatura foram coletados dentro de um ambiente laboratorial. Este estudo foi desenvolvido com auxílio do IFSC através do programa PROPICIE 12, em parceria com a instituição de ensino finlandesa *HAMK University of Applied Sciences*. Com isto foi possível analisar na prática a aplicação dos dispositivos IoT para a coleta de dados através de sensoriamento e posterior criação de banco de dados para armazenamento. Após coleta e armazenamento, foram montados diagramas para uma melhor análise dos dados, e ainda a atualização automática dos gráficos e bancos de dados, mantendo sempre os dados atualizados e prontos para uso.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para um melhor entendimento e acompanhamento da linha de raciocínio empregada no desenvolvimento do trabalho, o mesmo foi dividido em cinco capítulos.

O primeiro capítulo compreende a introdução do trabalho, apresentando os objetivos gerais e específicos, justificativas e metodologia de pesquisa. Neste capítulo pretendeu-se mostrar ao leitor a importância do tema desenvolvido, e os objetivos que se pretendia alcançar com a pesquisa e desenvolvimento deste trabalho.

No segundo capítulo aborda-se um histórico do planejamento do setor elétrico. Partindo-se inicialmente do planejamento tradicional do setor, até a evolução para o Planejamento Integrado de Recursos Energéticos. São apresentados também os conceitos, metodologias e ferramentas do PIR.

No terceiro capítulo é feita a análise da introdução dos dispositivos IoT dentro do PIR, trazendo suas funcionalidades, vantagens, desvantagens e aplicações possíveis. Ressalta-se sua aplicação como aliado em programas de GLD,

principalmente no controle dos serviços energéticos, resposta da demanda e tarifa branca.

No quarto capítulo é feita a implementação prática de um sistema de sensoriamento e manutenção de um banco de dados em nuvem, com medições dos serviços energéticos térmicos e de iluminação. Mais algumas abordagens teóricas também são feitas, principalmente tratando sobre ferramentas suplementares utilizadas na implementação do algoritmo e construção do banco de dados.

No quinto capítulo é feita a conclusão geral deste trabalho, ressaltando os principais resultados alcançados e a conclusão sobre a importância do PIR, e a grande possibilidade de avanço na implementação do PIR com a utilização de novos dispositivos baseados em internet das coisas.

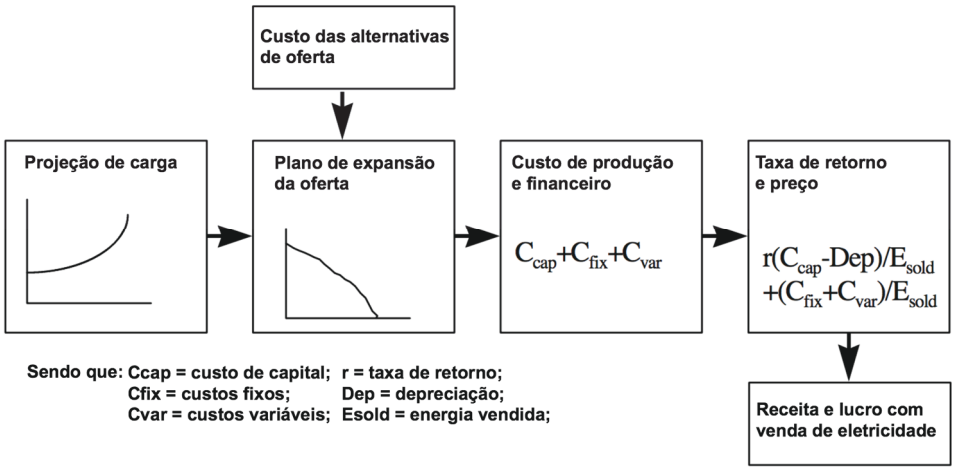
2 PLANEJAMENTO INTEGRADO DE RECURSOS

2.1 PLANEJAMENTO TRADICIONAL DO SETOR ELÉTRICO

"Até o começo da década de 70, a atividade de planejamento energético possuía uma lógica relativamente simples e, de certa forma, bastante similar àquela do planejamento econômico: o atendimento da demanda a um mínimo custo." (COSTA, 2001). Este tipo de planejamento era aplicado amplamente a apenas alguns setores energéticos, como a eletricidade, o carvão e o petróleo, que na verdade eram as principais fontes energéticas da época. "A preocupação do planejamento da energia se voltava para o suprimento de recursos com menor custo, de forma a assegurar a crescente demanda." (CODONI; PARK; RAMANI, 1985).

"O planejamento tradicional para a energia elétrica procurou expandir os recursos de suprimento para atender ao crescimento esperado da demanda com alta confiabilidade e visando reduzir os custos econômicos dessa expansão." (SWISHER; JANNUZZI; REDLINGER, 1997, p. 17). Na Figura 1 é apresentada a maneira de projetar a expansão da carga e com isso expandir os recursos de demanda a fim de atender a demanda futura com segurança, minimizando os custos econômicos.

Figura 1 – O modelo tradicional de planejamento elétrico a custo mínimo.



Fonte: Swisher, Jannuzzi e Redlinger (1997)

De acordo com a Figura 1, percebe-se que a curva de projeção de carga apresenta um comportamento ascendente, caracterizando o desenvolvimento econômico e social do país, enquanto que o plano de expansão da oferta apresenta um comportamento decrescente, por conta de melhor utilização de plantas já existentes, por exemplo. Nos custos de produção e na taxa de retorno e preço percebe-se a presença de algumas variáveis pertinentes ao modelo tradicional de planejamento do setor elétrico baseado no custo mínimo: C_{cap} que diz respeito ao custo de capital investido na produção; C_{fix} que se refere aos custos fixos da produção de energia, como mão de obra; C_{var} que se refere aos custos variáveis relativos à produção, como diferentes quantidades de combustível utilizados em termelétricas utilizadas como usinas de ponta; r que representa a taxa de retorno do investimento; Dep que mensura a depreciação dos equipamentos; e E_{sold} que é a energia total vendida pela central geradora.

Segundo Swisher, Jannuzzi e Redlinger (1997, p. 17) este critério tem ajudado economias ascendentes em geração de energia, levando a uma estratégia quase universal de expansão rápida da capacidade e promoção do crescimento da demanda, sem considerar a necessidade ou eficiência no uso de energia. Contudo, recentemente este cenário tem mudado, principalmente por conta do aumento dos custos de geração e restrições ambientais, e o conceito de planejamento visando o “menor custo” começou a ser redefinido.

Segundo Cartaxo (2003) e Jannuzzi (2006), no passado, essa solução foi justificada como única forma de suprir a demanda por energia elétrica sem qualquer preocupação com a racionalidade e eficiência no uso final da eletricidade. Contudo, sabe-se que atualmente este modelo de planejamento energético em larga escala se tornou inaplicável, além disso, a mudaça no modelo de planejamento passou a viabilizar projetos alternativos para o desenvolvimento do setor energético.

> O rápido crescimento da produção de energia leva a impactos ambientais que também podem restringir o desenvolvimento. A produção de energia, seja a partir de combustíveis fósseis e nucleares esgotáveis ou a exploração em larga escala de recursos hidrelétricos ou de biomassa, leva a muitos dos impactos ambientais mais severos enfrentados pelos países em desenvolvimento e industrializados. Estes incluem poluição do ar, resíduos radioativos, sedimentação de bacias hidrográficas, desmatamento e erosão do solo, etc. (SWISHER, JANNUZZI, REDLINGER, 1997)

Ainda segundo Swisher, Jannuzzi e Redlinger (1997, p. 2) no passado, as questões ambientais foram consideradas secundárias ao crescimento econômico

nos países em desenvolvimento e industrializados. Recentemente, no entanto, tanto os impactos ambientais locais como globais foram identificados como uma possível restrição ao desenvolvimento.

Segundo WWF (2006) ainda existe tradicionalmente uma forte predominância do planejamento voltado às alternativas de geração altamente centralizadas e não favorece investimentos em medidas de conservação de energia. Dessa maneira, a estrutura de planejamento energético no Brasil tem sido uma barreira para o país planejar ações mais agressivas no que diz respeito a medidas de conservação de energia.

No planjemanto tradicional a maior preocupação está no atendimento a demanda crescente de energia. Sendo considerado de extrema importância o gerenciamento pelo lado da oferta (GLO), contudo ocorre uma grande falha quando se maximiza as políticas de gerenciamento da oferta e não se da a devida atenção a medidas direcionadas aos usos finais, ou seja, gerenciamento pelo lado da demanda (GLD). Sendo que isto poderia resultar em uma grande conservação energética, favorecendo a economia, o meio ambiente e a sociedade.

2.2 PLANEJAMENTO INTEGRADO DE RECURSOS ENERGÉTICOS

"As estratégias para produção e uso de energia têm um papel preponderante na busca de desenvolvimento sustentado pela humanidade." (GIMENES et al., 2008). Com o passar dos anos percebeu-se a necessidade de criar uma nova forma de planejamento energético, levando em consideração questões de desenvolviento sustentável, eficiência energética, e também questões de caráter social e ambiental.

> A natureza complexa do planejamento moderno da eletricidade, que deve satisfazer múltiplos objetivos econômicos, sociais e ambientais, exige a aplicação de um processo de planejamento que integre esses objetivos frequentemente conflitantes e que considere a mais ampla gama possível de recursos energéticos tradicionais e alternativos. (SWISHER; JANNUZZI; REDLINGER, 1997)

"É necessário que metodologias e técnicas de planejamento do setor elétrico sejam aperfeiçoadas para incorporar aspectos não usuais, enfatizar alternativas não tradicionais." (GIMENES et al., 2008, p. 2).

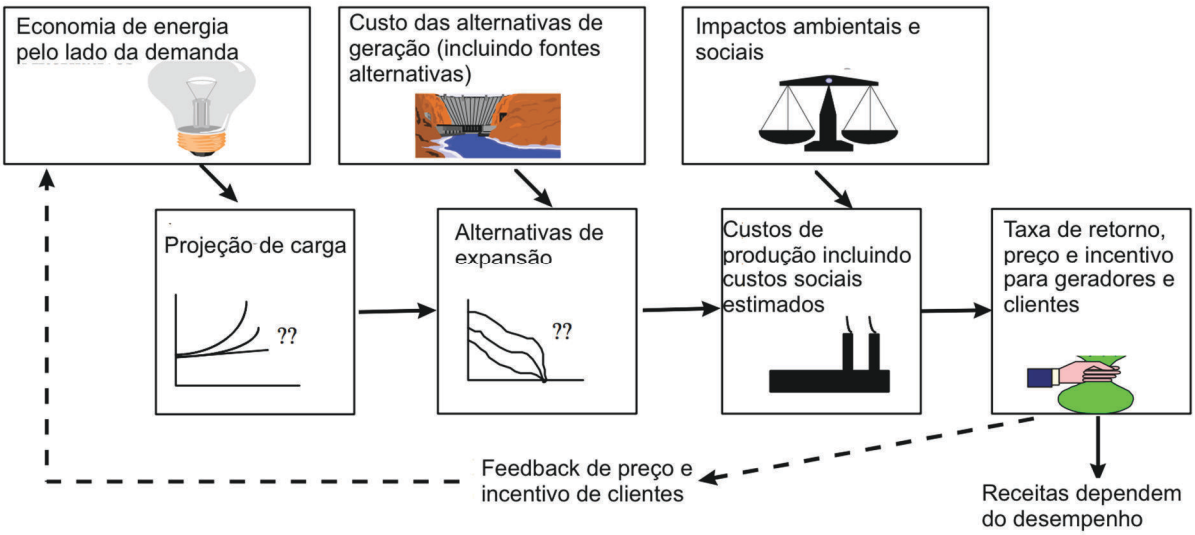
“Neste caso, para que esta nova abordagem de planejamento fosse fortalecida, deveriam ser apresentados benefícios para quem executasse o plano e para os demais envolvidos, incluindo aqui toda a sociedade.” (MANCA, 2008).

De acordo com Junior (2016), a necessidade de encontrar um planejamento mais eficiente e com melhores considerações fez com que, no final da década de setenta, alguns países desenvolvidos, tais como os EUA, a Dinamarca e o Canadá, já começassem a aplicar o Planejamento Integrado de Recursos, nos setores elétricos e de gás canalizado.

Segundo Deshun, Youhong e Aiming (1997), o Planejamento Integrado de Recursos foi proposto como abordagem de gerenciamento para os países desenvolvidos, neste caso, mais necessitados de oferta de energia.

Com o decorrer dos anos, portanto, a expansão de oferta passou a não se basear somente no menor custo, caminhando assim para a aplicacação do PIR. “Isso significa integrar uma gama mais ampla de opções tecnológicas, de eficiência energética e GLD, bem como fontes descentralizadas, na combinação de recursos potenciais.” (SWISHER; JANNUZZI; REDLINGER, 1997). Na Figura 2 é possível verificar onde são feitas cada uma das análises do PIR, desde a projeção da demanda até os custos de produção, incluindo custos sociais e ambientais estimados.

Figura 2 – Custo de produção e modelo de carga de “menor custo” no PIR.



Fonte: Swisher, Jannuzzi e Redlinger (1997)

Segundo Udaeta (1997) o PIR é um ferramental que coloca em um mesmo patamar de condições e expectativas as opções pelo lado da oferta e da demanda. Contudo, segundo Swisher, Jannuzzi e Redlinger (1997) a dificuldade na implementação do PIR é que o valor ambiental não é negociável no mercado, pois é um bem social comum e os benefícios e tecnologias de eficiência energética não são totalmente capturados pelo mercado.

> O PIR consiste na seleção da expansão da oferta de energia elétrica através de processos que avaliem todo um conjunto de alternativas, como o aumento da capacidade instalada, a conservação e a eficiência energética, a autoprodução e as fontes renováveis, visando uma energia de melhor qualidade ao menor custo possível. Deste modo, diferencia-se do planejamento tradicional na classe, na abrangência e no critério de seleção dos recursos considerados, nos proprietários e nos organismos envolvidos nos planos dos recursos. (GIMENES et al., 2008)

Para Udaeta (1997) o PIR pode ser ou é entendido como o processo no sentido de um exame de todas as opções possíveis e factíveis no percurso do tempo e da geografia, isto, na procura de responder a problemáticas da energia, selecionando as melhores alternativas, com a finalidade de garantir a sustentabilidade socioeconômica. Com isso, o PIR pode ser encarado como um instrumento auxiliar no desenvolvimento sustentável.

> O resultado esperado do mercado para as mudanças provocadas pelo PIR é criar um ambiente econômico mais favorável para o desenvolvimento e aplicação de tecnologias de uso final eficientes e tecnologias de fornecimento mais limpas e menos centralizadas, incluindo fontes renováveis. O PIR significa que essas opções serão consideradas, e a inclusão de custos ambientais significa que elas parecerão relativamente atraentes em relação às opções de fornecimento tradicionais. (SWISHER; JANNUZZI; REDLINGER, 1997)

Contudo, vale ressaltar que há diferentes perspectivas com as quais se pode observar o processo do PIR na sua concretização, e estas podem ser, segundo Udaeta (1997):

a) Perspectiva governamental, onde seu significado percorre questões como criação de empregos, preservação, conservação e proteção do meio ambiente, novas tecnologias, etc;

b) Para a concessionária, onde o PIR significa escolhas de baixo custo, redução de tarifas e satisfação do consumidor;

c) Para o consumidor, que vê benefícios através de economias de energia, melhoramento do ambiente de trabalho, etc.

Segundo Bauer (1992), as metas do PIR envolvem questões mais complexas incluindo a participação em negócios competitivos, o gerenciamento de risco, a contabilização de externalidades (sociais e ambientais), e a alternância de combustíveis entre gás e eletricidade, além de estimular um planejamento de menor custo e o uso do gerenciamento pelo lado da demanda.

A aplicação do PIR vai desde o GLD e GLO, até as atividades de transmissão e distribuição de energia. Buscando integrar o uso eficiente da energia, causando efeitos econômicos, de segurança, no meio ambiente e na sociedade. O PIR pode ser aplicado tanto a recursos energéticos, como as principais fontes primárias de energia (sol, água, vento, etc.), no caso do GLD, até programas de incentivo a eficiencia energética como o PROCEL, e programas de incentivo a geração de energia elétrica por fontes alternativas, como o PROINFA.

A seguir são elencados alguns modelos de previsão de demanda, tais como: modelo econométrico e modelo por usos finais (também conhecido como modelo de engenharia). Além disso são também apresentados alguns componentes básicos do PIR, afim de orientar o leitor sobre algumas etapas essenciais na elaboração do mesmo.

2.2.1 Modelos de Previsão da Demanda e Componentes Básicos do PIR

"A maioria das abordagens utilizadas na previsão de demanda de energia elétrica, contém essencialmente dois tipos de métodos para desenvolver suas previsões, estes são: o econométrico e o de usos finais." (UDAETA, 1997). A seguir serão abordados esses dois modelos de previsão de demanda de energia, com suas características, vantagens e limitações.

2.2.1.1 Modelo Econométrico

Segundo Udaeta (1997), Swisher, Jannuzzi e Redlinger (1997), os modelos econométricos são caracterizados basicamente, pelo requerimento moderado de dados e pelo seu fundamento estatístico, tendo a vantagem de

requerer menos dados que o método de engenharia e mesmo assim uma boa base estatística.

Os modelos econométricos estão fundamentados na premissa de que as mudanças no comportamento de uma variável dependente podem ser explicados através das mudanças verificadas em outros fatores explicativos ou variáveis independentes. Sendo que este modelos se baseiam principalmente em comportamentos históricos, sistemas de regressões, dependência entre variáveis selecionadas, funções de custo de produção, iterações estatisticamente provadas.

“Normalmente são usados para toda uma classe de clientes e não levam em conta a estrutura tecnológica do seu consumo de energia.” (SWISHER; JANNUZZI; REDLINGER, 1997). Portanto, os modelos econométricos são considerados mais agregados que o modelo de usos-finais, principalmente decorrente do fato de não levar em consideração a estrutura de consumo de energia.

Segundo Swisher, Jannuzzi e Redlinger (1997), equação econométrica utilizada em estudos de energia é baseada na função de produção de Cobb-Douglas, apresentada na equação 1:

$$E = kA_{(t)}^{\alpha}(t)P_{(t)}^{\beta} \quad (1)$$

Onde: E = energia;

k = constante;

t = tempo;

A = atividade;

P = preço;

β, α = elasticidade de Preço e de Atividade.

As elasticidades de atividade e preço podem ser dadas por (2) e (3), respectivamente:

$$\alpha = \frac{\Delta E/E}{\Delta A/A} \quad (2)$$

$$\beta = \frac{\Delta E/E}{\Delta P/P} \quad (3)$$

Observando as equações 2 e 3 é facilmente perceptível que o modelo econométrico utiliza um histórico de dados passados para estimar os parâmetros α e β.

"Os modelos econométricos foram amplamente utilizados nas projeções de demanda de energia até a década de 1970." (SWISHER; JANNUZZI; REDLINGER, 1997). Após 1973-1974 a alteração radical do contexto econômico e energético mudou profundamente essa crença: crescimento rápido dos preços, variações estruturais das economias, etc. Contudo, ainda podem produzir resultados satisfatórios se aplicados em um horizonte médio, ou seja, de até 5 anos.

Segundo Swisher, Jannuzzi e Redlinger (1997) este tipo de projeção leva em conta cenários onde a evolução de equipamentos e propostas de eficiência energética estão "congelados". Ou seja, a estrutura tecnológica da demanda, incluindo eficiência energética permanecem constantes para o período de análise.

O modelo econométrico apresenta algumas limitações, tais como: requer estabilidade no comportamento econômico, dificuldade para incorporar efeitos e alterações tecnológicos, requer disponibilidade de dados confiáveis.

2.2.1.2 Modelo de Usos-finais

"Os modelos de projeção de uso final (ou modelos de engenharia) são muito mais detalhados do que os modelos econométricos, embora sua formulação analítica possa ser bastante simples." (SWISHER; JANNUZZI; REDLINGER, 1997).

Segundo Galvão et al. (2000), a análise metodológica dos usos proporciona uma comparação racional e econômica das alternativas energéticas de produção e consumo (oferta e demanda), combinando diferentes alternativas de desenvolvimento e eficiência para o desenvolvimento de cenários para a satisfação das necessidades de energia futuras, juntamente com opções políticas para promover eficiência energética e avaliação de impactos ambientais nas opções de GLO e GLD.

Segundo Swisher, Jannuzzi e Redlinger (1997), a demanda é desagregada até os usos finais e dividida em setores de consumo. Estes setores e cada um dos usos finais estão elencado a seguir:

a) Setor residencial: iluminação, aquecimento de água, refrigeração, ar-condicionado, etc;

b) Setor de atividades (comercial): ar-condicionado, iluminação, refrigeração, etc;

c) Setor industrial: força motriz, temperatura do processo produtivo, iluminação, etc.

Sendo assim, facilmente pode-se obter a quantidade total de energia requerida, calculada com base em cada um dos usos finais, utilizando-se a Equação 4:

$$Energia = \sum_{i=1}^{i=n} Q_i . I_i \quad (4)$$

Onde: Q_i = quantidade de energia por uso final;

I_i = intensidade no uso de energia por uso final;

Percebe-se que a quantidade total de energia necessária pode ser reduzida tanto melhorando a eficiência dos equipamentos, como também evitando o uso desnecessário e o desperdício no uso de energia.

Contudo, para obter a quantidade de energia por uso final (Q_i), é necessário levar em consideração alguns fatores, dentre eles: número de consumidores com determinado equipamento de uso final (N_i), percentual de residências que possuem determinado equipamento (P_i - comumente em valor percentual), e a magnitude ou extensão de uso do equipamento (M_i - comumente em h/ano). Logo, a quantidade de energia por uso final pode ser obtida através da Equação 5 apresentada abaixo.

$$Q_i = N_i * P_i * M_i \quad (5)$$

Esta análise de usos finais equacionada acima, leva em consideração a desagregação por setor econômico e por uso final da energia. Contudo, ainda há a possibilidade de fazer uma análise ainda mais minuciosa e desagregada, onde os setores de uso são desagregados até se tornarem módulos socioeconômicos homogêneos.

Após desagregado o setor até se tornarem módulos socioeconômicos homogêneos, é possível equacionar o total de energia requerida por uso final e por

faixa salarial, por exemplo, ou qualquer outro método que resulte em módulos socioeconômicos homogêneos. Esta análise vale tanto para o setor residencial como também para os demais setores econômicos, incluindo os setores comercial e industrial. A diferença está no método de desagregar e qual o fator que será levado em consideração. A Equação 6 traz a equação resultante para o equacionamento da energia requerida levando em consideração o uso final e a classe econômica/ramo de atuação ou qualquer outro fator utilizado para desagregar os consumidores e seus usos finais.

$$Energia = \sum_{i=1}^{i=n} Q_i . I_i = \sum_{i=1}^{i=n} (N_i * P_i * M_i) * I_i$$

$$E_{R_i} = N_i * P_i * M_i * I_i \qquad (6)$$

$$Energia = \sum_{i,j=1}^{n,m} E_{R_{i,j}}$$

Obviamente, as equações elaboradas para a projeção da demanda de energia podem ser formuladas em qualquer nível de detalhe: apenas uso final, uso final e classe econômica, ou por uso final, clase econômica e tipo de contrução de residência. O analista deve equilibrar os benefícios de níveis adicionais de detalhes em relação ao custo e dificuldade em obter detalhes adicionais, é o que informa Swisher, Jannuzzi e Redlinger (1997).

Portanto, a procura-se utilizar modelos de projeção abrangentes, que englobem tanto o lado da oferta quanto o lado da demanda, de tal maneira que seja possível projetar adequadamente a demanda para os próximos anos. Segundo Udaeta (1997) têm sido desenvolvidos modelos de previsão que comportam as melhores características das abordagens de uso final e econométricas.

2.2.1.3 Metodologia do PIR

Para Gimenes (2004), a abordagem do PIR busca a todo momento a adequação social, ambiental, politica e econômica do plano final proposto, de forma a manter-se de acordo com os princípios do desenvolvimento sustentável.

Segundo Udaeta (1997), no processo de desenvolvimento do PIR estão integrados diversos elementos, sendo eles:

a) Recursos de Oferta e Demanda;

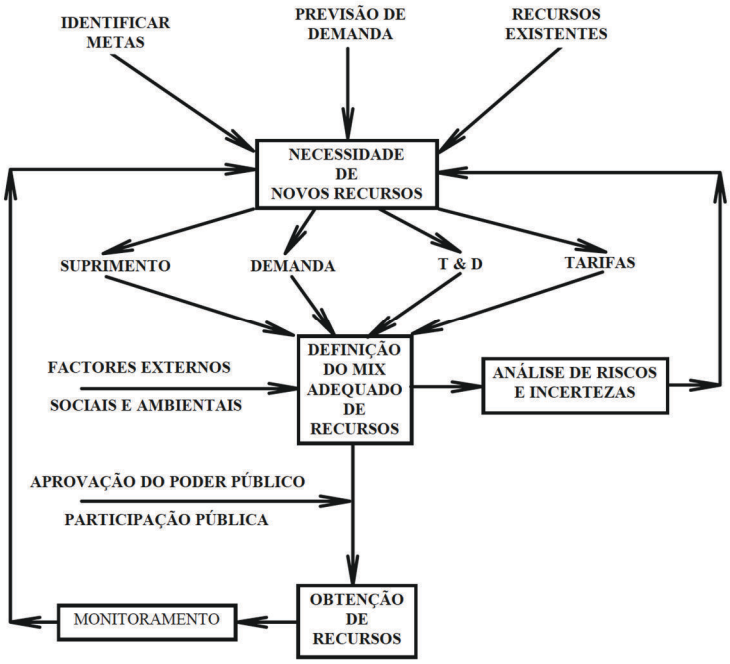
b) Aspectos sociais, ambientais, econômicos e políticos na avaliação de tais recursos;

c) Questões locacionais e temporais;

d) Todos os envolvidos e interessados.

Na Figura 3 é apresentada a visão esquemática do processo do PIR.

Figura 3 – Diagrama ilustrativo do processo do PIR.



Fonte: Udaeta (1997)

O processo de Planejamento Integrado de Recursos Energéticos é um processo flexível e deve ser adaptado para cada região de estudo e também a cada período temporal. Com isso é possível fazer um levantamento de todos os recursos energéticos da oferta e da demanda, de forma a prover a todos os envolvidos as informações necessárias para atuar com mais conhecimento na realidade do mercado da região.

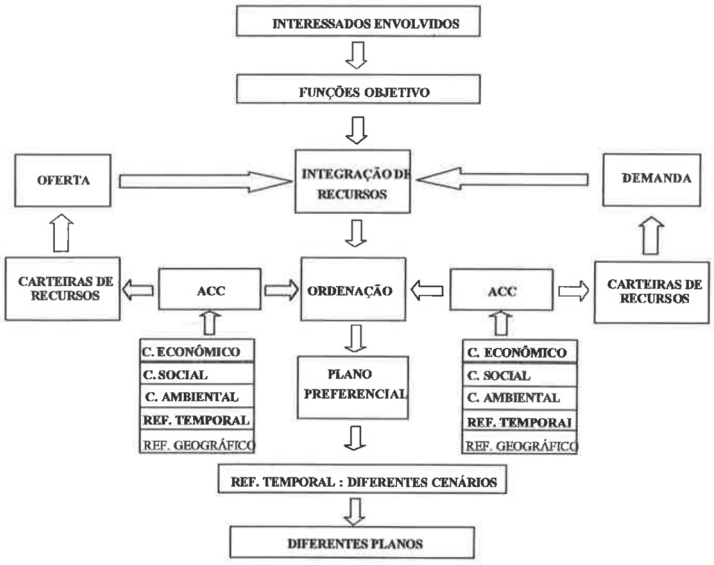
“A partir dessa base abrangente de dados, cada recurso de oferta e demanda passa a estar bem caracterizado, permitindo a composição das chamadas carteiras de recursos individuais.” (GIMENES, 2004).

Com o conhecimento dos recursos de oferta e demanda, estes podem agora ser integrados através da metodologia de Avaliação dos Custos Completos (ACC). “A ACC avalia e classifica os recursos segundo critérios econômicos, sociais e ambientais com pesos iguais, e valores atribuídos a cada categoria de impacto.” (GIMENES, 2004). Utilizando-se a ACC, ordena-se os recursos de acordo com a nota atribuída a cada um deles, forma-se então a carteira global.

“A participação dos Envolvidos-Interessados (En-In) se concretiza na composição dos critérios utilizados na ACC (a qual determinará o desemprenho de cada alternativa) e na composição de Funções Multiobjetivos.” (GIMENES, 2004). Solucionando-se as funções multiobjectivos, satisfazendo-as, determinará o plano a ser seguido, e em última instância será o produto final do PIR.

O processo de integração de recursos do PIR pode ser visualizado na Figura 4.

Figura 4 – Processo de integração no PIR.



Fonte: Gimenes (2004)

2.2.1.4 Componentes Básicos do PIR

Para Udaeta (1997), o PIR deve seguir algumas etapas ou componentes básicos durante seu processo. Valendo ressaltar que particularidades ocorrerão de acordo com a região de aplicação do PIR. Portanto, a seguir são apresentados os

pontos principais que devem ser considerados a cada momento, no curto e longo prazo.

a) Identificação dos objetivos do plano: serviço confiável e adequado, eficiência econômica, manutenção da situação econômico-financeira, mesmas considerações de peso para o lado da oferta e da demanda, etc.;

b) Estabelecimento da previsão da demanda: distinguir os fatores que influenciam ou não a demanda, elaborar várias previsões acerca das incertezas do futuro, etc.;

c) Identificação dos recursos de suprimento e da demanda: levantar separadamente cada um dos recursos factíveis, tanto os já estabelecidos, quanto os potenciais planos, que possam influenciar aspectos do lado da oferta e da demanda;

d) Variação dos recursos de suprimento e de demanda: deve ser feita a análise multi-criterial de cada recurso com recursos coerentes e objetivos já estabelecidos;

e) Desenvolvimento de carteiras de recursos integrados: para cada previsão de demanda devem ser atribuídas carteiras com as opções de recursos tanto do lado da oferta quanto da demanda, sendo que ambos devem cobrir o mesmo período de tempo futuro;

f) Avaliação e seleção das carteiras de recursos: as carteiras deverão então ser comparadas nas bases de atributos do PIR, ou seja, de acordo com os objetivos do planejamento;

g) Plano de ação: detalhamento da aquisição dos recursos de curto prazo e especificar o modo de ajuste à evolução da demanda;

h) Interação público-privada (com a sociedade): envolvimento da sociedade e outras concessionárias no processo do PIR;

i) Introdução e participação do regulador: oportunidade para o regulador comentar e revisar as etapas do PIR;

j) Introdução e implantação de políticas governamentais: PIR em concordância com a legislação vigente;

k) Avaliação das incertezas e riscos de planejamento: levantamento dos riscos da aplicação do PIR desenvolvido.

2.2.2 Gerenciamento pelo Lado da Oferta (GLO)

Sabe-se que com o aumento do conforto proporcionado pelos equipamentos eletrodomésticos e eletroeletrônicos, exige um aumento na oferta dos serviços de energia. Segundo D'Sa (2005), aumentos na oferta no setor de eletricidade podem incluir tanto a expansão da capacidade de geração, como também melhorias na utilização da capacidade existente. O que também é reforçado por Swisher, Jannuzzi e Redlinger (1997), quando mencionam que investimentos em eficiência energética são avaliados no PIR usando a mesma taxa de desconto para investimentos de expansão da capacidade de geração.

"As tecnologias voltadas para o suprimento quase sempre necessitaram de grandes investimentos, baseados em projetos centralizados de geradores, sem considerar os custos ambientais e levando em conta apenas o setor financeiro." (MANCA, 2008). Segundo reforçado por Deshun, Youhong e Aiming (1997), as formas descentralizadas como produtores independentes e cogeração surgiram como alternativas viáveis ao modelo centralizado, principalmente para promover uma maior participação das fontes renováveis como solar e eólica.

Segundo Reddy e Sumithra (1996), para respeitar e impor limites às questões ambientais, deve-se priorizar a produção de energia centralizada por fontes limpas como gás natural e hídricas, e difundir a participação de fontes descentralizadas, com preferência para as renováveis como eólica, solar e biomassa.

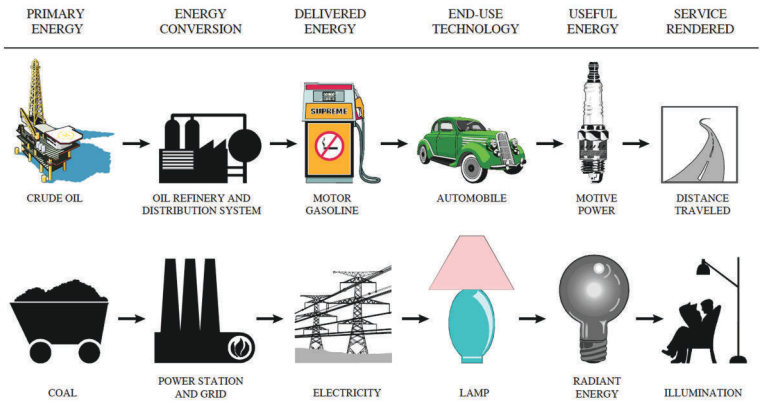
Com o desenvolvimento constante de novas tecnologias aplicadas as fontes renováveis de energia, a decisão por investimentos em fontes descentralizadas renováveis vem ganhando força. Segundo a EPE (2016) o Brasil é um país que possui dimensões continentais e apresenta um excelente potencial para

a utilização de fontes renováveis como recurso energético primário. Dentro os principais podem-se citar: hidráulica, biomassa, eólica, solar e oceânica.

Para Udaeta (1997), durante o processo de GLO alguns obstáculos inerentes podem vir à tona, alguns cuidados devem ser tomados e peculiaridades observadas. Como obstáculos podemos considerar as mudanças de legislação e regulamentação para geração e distribuição de energia; impactos ambientais e o crescimento da oposição pública a construção de novas usinas é um cuidado a se tomar no momento de projetar a expansão da capacidade geradora; e incertezas e riscos quanto ao aumento da carga e preço/quantidade de combustíveis fósseis disponíveis.

Dentro do GLO há a análise de recursos energéticos primários e secundários. Segundo Swisher, Jannuzzi e Redlinger (1997), os recursos primários são as formas de energia as quais encontramos na natureza, tais como vento, gás natural, petróleo, água, sol, dentre outras fontes. E a partir dessas fontes e processos de transformação, é obtido os recursos energéticos secundários, dos quais pode-se destacar a energia elétrica e a gasolina. Após isto e toda a fase de transporte desse recurso energético secundário, considera-se o uso da energia, processo esse que será analisado e mencionado com mais detalhes na seção seguinte. Contudo, na Figura 5 é possível visualizar o fluxo da energia, desde o recurso energético primário e secundário, até o uso final.

Figura 5 – O fluxo da energia.



Fonte: Swisher, Jannuzzi e Redlinger (1997)

Como recurso energético secundário, levando em consideração o atual cenário econômico brasileiro, a energia elétrica é a que vem sendo mais

amplamente utilizada, estudada e aprimorada. A utilização dos recursos energéticos primários para a obtenção de energia elétrica está em constante evolução, principalmente levando em consideração as fontes renováveis citadas anteriormente. Conforme mencionado por Deshun, Youhong e Aiming (1997), as formas descentralizadas de produção de energia acabam por promover uma maior participação das fontes renováveis, e atualmente o conceito de Geração Distribuída (GD) vêm ganhando força.

Além da análise das fontes energéticas primárias e secundárias, a análise pelo lado da oferta deve incluir não somente custos econômicos. Segundo Swisher, Jannuzzi e Redlinger (1997) um dos principais objetivos do PIR e do GLO é a inclusão também os custos sociais e ambientais, comumente conhecidos como externalidades.

“A inclusão de tais custos para a externalidade ambiental permitiu fazer uma comparação econômica direta entre tecnologias convencionais e alternativas mais limpas, mas outras mais caras.” (SWISHER; JANNUZZI; REDLINGER, 1997).

Ainda segundo Swisher, Jannuzzi e Redlinger (1997), o setor de energia elétrica cria diversos impactos ambientais, sendo a maioria deles relativo ao processo de produção de energia. Estes impactos podem ser, portanto, classificados em:

a) Espaço utilizados: grandes centrais geradoras ocupam grandes áreas, ocasionando em desapropriações em larga escala, e no caso das usinas hidrelétricas, em inundações;

b) Lixo inerente ao processo: como por exemplo as usinas termelétricas a carvão, que produzem uma grande quantidade de cinzas, ou as usinas nucleares que produzem lixo radioativo;

c) Resfriamento: nas usinas térmicas principalmente, que utilizam grandes quantidades de água para o resfriamento dos geradores;

d) Emissão de gases: principal impacto causado por termelétricas que utilizam combustíveis fósseis como fonte energética primária, porém vale ressaltar que até mesmo as usinas hidrelétricas emitem gases por

conta da matéria morta no fundo dos lagos, lançando metano na atmosfera;

Contudo, todo o processo de GLO deve ser aplicado levando em consideração também as opções pelo lado da demanda, obtidas através do GLD. Portanto, deve-se unir os dois processos na busca pela solução ótima no que diz respeito a custos econômicos, sociais e ambientais.

2.2.3 Gerenciamento pelo Lado da Demanda (GLD)

"Programas de gerenciamento pelo lado da demanda são intervenções deliberadas de uma empresa de energia elétrica no mercado consumidor (demanda), com o intuito de promover alterações no perfil e na magnitude da curva de carga." (CAMPOS, 2004).

Segundo Udaeta (1997), um dos fundamentos do PIR, está justamente na consideração das variadas alternativas do lado da demanda no contexto da compreensão ampla da indústria elétrica. Isto significa, em todo caso, a consideração ponderada dos recursos relativos à utilização da energia elétrica.

> Os programas de gerenciamento pelo lado da demanda envolvem um esforço sistemático para gerenciar o tempo ou quantidade de eletricidade exigida pelos clientes. Os programas GLD são desenvolvidos e implementados dentro de uma determinada área geográfica, geralmente pela distribuidora local, embora em alguns países as agências governamentais também tenham agido nos esforços do GLD. O primeiro requisito de um programa GLD é uma avaliação da evolução futura do perfil de carga e demanda do consumidor [...] (SWISHER; JANNUZZI; REDLINGER, 1997)

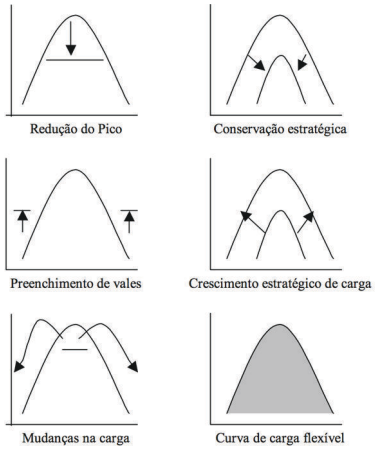
Para Deshun, Youhong e Aiming (1997), programas de GLD vêm para encorajar os consumidores a adotar um consumo racional dos recursos energéticos.

> O planejamento integrado de recursos, requer da concessionária (ou organismo responsável pelo PIR) que, conjuntamente com as avaliações do suprimento, devam se conduzir estudos no sentido de obter uma avaliação completa dos recursos que visam questões tais como: a eficiência energética; o gerenciamento de carga; e mudança de energéticos (combustível para uso final e/ou geração de energia). Onde as opções envolvidas através destes referenciais deverão se traduzir em programas de GLD. (UDAETA, 1997)

De acordo com Swisher, Jannuzzi e Redlinger (1997) estratégias de GLD consideram iniciativas que visam mudar as características da curva de carga ou a área total abaixo dessa curva (uma vez que a integral da curva de carga resulta na

energia total consumida), ou até mesmo a combinação de ambas. Na Figura 6 é possível observar as estratégias clássicas de controle de curva de carga buscadas pelos programas GLD.

Figura 6 – Objetivos de curvas de carga para o GLD.



Fonte: Swisher, Jannuzzi e Redlinger (1997)

> Em relação aos benefícios, medidas de gerenciamento pela demanda podem surtir índices significativos de economia de energia. Um exemplo claro de economia pôde ser percebido após a crise de abastecimento ocorrida em 2001 no Brasil. A introdução de tecnologias mais eficientes e a substituição de eletricidade por energia solar e gás (GN e GLP), aliado a mudanças nos padrões de consumo da população (em especial, o setor residencial), propiciaram redução no consumo a índices superiores a 20% em algumas regiões do país. (MANCA, 2008)

Dentro de um programa de GLD há algumas estratégias para um bom planejamento e projeção da demanda, dentre eles: gestão de carga e investimentos em eficiência energética. Para tanto, serão abordados cada um desses itens nos tópicos a seguir.

Posteriormente abordará-se-a a evolução do GLD para a Resposta da Demanda, principalmente decorrente da inclusão de dispositivos IoT que possibilitaram a evolução da gestão de parâmetros elétricos para a demanda e a estrutura tarifária branca.

2.2.3.1 Gestão de Carga

Segundo Swisher, Jannuzzi e Redlinger (1997), gestão de carga inclui medidas que procuram estimular o melhor uso da capacidade elétrica instalada com

o intuito de adiar a necessidade de ampliar a capacidade e o gerenciamento de carga pode ser realizado por meio da alteração da estrutura tarifária, controle direto de carga, ou pela introdução de tecnologias específicas.

2.2.3.2 Programas de Eficiência Energética

"Programas de eficiência energética é um tipo específico de programas GLD que se baseia principalmente na redução do consumo de energia por um determinado uso final." (SWISHER; JANNUZZI; REDLINGER, 1997).

A seguir serão listados alguns dos programas que podem endereçar programas de eficiência energética, sendo eles, segundo Swisher, Jannuzzi e Redlinger (1997):

a) Auditoria e informativos: auditorias energéticas em indústrias instruindo os demais sobre a importância de praticar as medidas necessárias;

b) Incentivos financeiros: incentivos no que diz respeito a financiamentos para aquisição de equipamentos mais eficientes ou descontos fiscais por conta do uso eficiente de energia;

c) Instalação direta de equipamentos mais eficientes: medida que representa um maior custo inicial, porém mais efetiva que os incentivos financeiros e fiscais;

d) Subsídio governamental: incentivos governamentais que subsidiam a produção de equipamentos mais eficientes, fazendo com que seu preço de mercado seja mais acessível e influencie sua utilização.

2.2.3.3 Resposta da Demanda

Com a expansão da Geração Distribuída (GD) principalmente por conta da expansão de centrais de micro e minigeração eólica e solar fotovoltaica, o processo de GLD também acabou por sofrer mudanças.

Essas mudanças decorrem principalmente pelo fato de que com a implantação da GD, os medidores de energia elétrica convencionais tiveram de ser

substituídos por medidores inteligentes, os conhecidos *smart meters*. “Com o monitoramento dos *smart meter*, a concessionária pode fazer um controle em tempo real do balanço de potência do seu sistema, possibilitando uma eficaz metodologia de combate às perdas comerciais.” (FORTES et al., 2017).

Segundo Fortes et al. (2017), a vantagem da adoção desses esquemas é que permite a possibilidade do GLD de forma facilitada. Fazendo com que seus objetivos possam ser atingidos na curva de carga do sistema, como por exemplo: redução de pico, deslocamento de cargas, entre outros, trazendo um benefício global para o Sistema Elétrico e para a população.

Conforme mencionado por Shahryari e Moghaddam (2017) a GD juntamente com *smart grids* e medidores inteligentes, integram todos os usuários conectados a ela, desde geradores até consumidores. Isto permite o gerenciamento do lado da demanda através da integração de medidores inteligentes, aparelhos inteligentes e cargas de consumidores, unidades de micro geração, opções de armazenamento de energia (veículos elétricos) e fornecendo aos clientes informações relacionadas ao uso e aos preços da energia.

“A troca bidirecional de informações colocará a base para a cooperação entre as diferentes entidades, e então eles devem ser capazes de acessar e correlacionar informações que virão de vários dispositivos.” (FIORENTINO; CORSI, 2015). Para isto, utilizar-se-á o conceito de *Internet of Energy* (IoE), que pode ser resumido como a união das redes elétricas inteligentes (*smart grids*) aos dispositivos IoT.

> A Resposta da Demanda oferece uma oportunidade para que os consumidores desempenhem um papel significativo no funcionamento da rede elétrica ao reduzir ou mudar o uso de eletricidade durante os períodos de pico em resposta a taxas baseadas no tempo ou outras formas de incentivos financeiros. (DEPARTAMENT OF ENERGY, 2017)

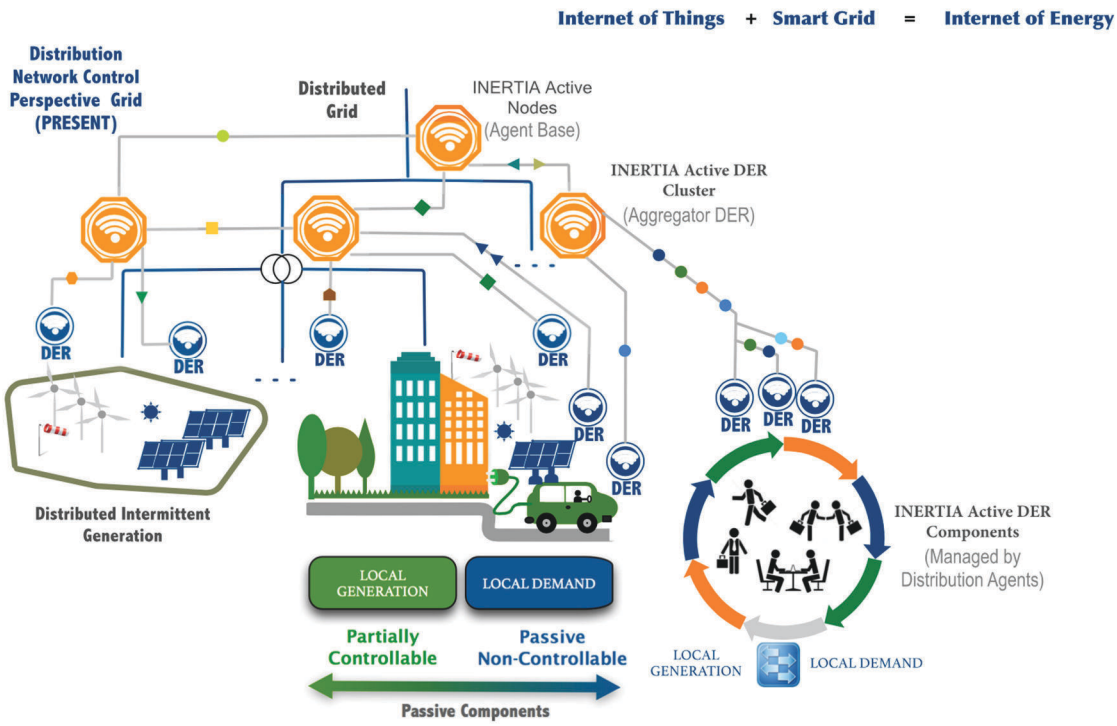
A Resposta da Demanda também inclui controle direto sobre alguns tipos de carga, como por exemplo ar condicionado e aquecedores de água, sendo permitido o desligamento destes durantes os horários de pico, em troca de incentivos financeiros e contas de energia elétrica reduzidas.

Segundo o Departament of Energy (2017), a indústria de energia elétrica considera os programas de resposta da demanda como uma opção de recursos cada vez mais valiosa cujas capacidades e impactos potenciais são expandidos

pelos esforços de modernização da rede. Por exemplo, sensores podem ser utilizados para perceber os picos de demanda da rede e utilizar uma mudança automática para desviar ou reduzir a energia em locais estratégicos, eliminando as chances de sobrecarga ou fata na rede. Sistemas baseados em dispositivos IoT como casas inteligentes, podem se tornar fortes aliados à resposta da demanda, principalmente por proporcionarem aos consumidores informativos sobre o preço da energia, auxiliando na mudança de comportamento no consumo de energia, principalmente nos períodos de pico. Esse programa também é capaz de auxiliar os geradores a obter um custo menor de operação, reduzindo os picos de demanda, reduz-se a necessidade de construção de novas usinas, especificamente as usinas de ponta. Além disso, sabe-se que as usinas de ponta são as responsáveis pela alta dos preços na energia, dado pelo Custo Marginal da Operação (CMO). O CMO diz respeito ao custo de operação da última usina despachada para atendimento de um acréscimo de carga no sistema.

Com este intuído, segundo Fiorentino e Corsi (2015), foi desenvolvido por seis países europeus o projeto INERTIA. “O projeto INERTIA trabalha na definição de uma nova infraestrutura de gerenciamento de dados para permitir a medição, auditoria e controle da produção e do consumo de eletricidade [...].” (FIORENTINO; CORSI, 2015). Este modelo pode ser visualizado a seguir, na Figura 7.

Figura 7 – Modelo do projeto INERTIA.



Fonte: Fiorentino e Corsi (2015)

> Dentro da INERTIA, os recursos energéticos distribuídos formarão redes auto-organizadas de nós ativos inteligentes que distribuem e equilibram eficientemente energia global e local. Esta rede de sobreposição auto-organizada permite o gerenciamento e controle contínuos da rede ativa, bem como uma coordenação eficiente entre fornecedores. (FIORENTINO; CORSI, 2015).

Segundo Shahryari e Moghaddam (2017), anteriormente o GLD era feito basicamente pelo controle de carga total da rede. Contudo, com o advento das redes elétricas inteligentes e a difusão da micro e mini geração há algumas incertezas, principalmente com relação a capacidade de geração das micro e minicentrais geradoras, uma vez que dependem de fatores climáticos instantâneos.

Para isso, utilizando-se os dispositivos IoT é possível um monitoramento em tempo real das centrais geradoras e do consumo de energia. Promovendo assim uma possibilidade de GLD de forma instantânea e com um maior controle dos dados.

“As novas tecnologias IoT (*Internet of Things*) são essenciais para implementar sistemas de energia elétrica em cidades inteligentes e reduzir impactos ambientais e custos sociais.” (FIORENTINO; CORSI, 2015)

2.3 CONCLUSÃO

Dada a devida introdução sobre o Planejamento Integrado de Recursos, seus conceitos, ferramentas, metodologia e modelos, é possível um maior entendimento desse estudo tão importante e necessário.

Através do GLO é possível analisar as opções possíveis para a análise dos recursos energéticos e elétricos para o lado da oferta. Levando em consideração sempre a visão do PIR, onde não são consideradas apenas soluções baseadas no menor custo, como era feito o planejamento tradicional. Desta vez, analisando-se os recursos do lado da oferta e da demanda de maneira integrada, avaliando as opções considerando tanto aspecto econômico, como também social, ambiental e político.

Contudo, atualmente as evoluções tecnológicas e o aumento na utilização das fontes renováveis de geração descentralizada de energia acarretaram em uma necessidade de mudança na metodologia do PIR. Como auxiliar nesse novo processo de elaboração do PIR pode ser considerada a utilização de ferramentas inovadoras baseadas no conceito de IoT, de forma a auxiliar na elaboração das carteiras de recursos tanto do lado da oferta como do lado da demanda. No GLD os dispositivos IoT demonstram um elevado potencial, facilitando o controle de potência e demanda, principalmente se associados ao contexto de GD. Nesse contexto, esses dispositivos permitem o controle e acesso a dados em tempo real, facilitando a operação do Sistema de Distribuição de energia elétrica e também permitindo uma coleta de dados para promover o PIR de maneira mais sistêmica e com dados de qualidade.

No capítulo seguinte é abordado o conceito pertinente aos dispositivos IoT e a aplicação desses dispositivos na elaboração do PIR, principalmente como auxiliar na elaboração e execução de estratégias de GLD. Serão elencadas também algumas ferramentas já desenvolvidas para as análises do PIR com esses dispositivos.

3 O PLANEJAMENTO INTEGRADO DE RECURSOS UTILIZANDO DISPOSITIVOS IOT

Com o passar dos anos e o aumento da demanda por energia elétrica, o Planejamento Integrado de Recursos teve de evoluir de maneira a acompanhar a crescente demanda. Passou do planejamento tradicional do sistema elétrico, a englobar também questões ambientais, sociais e políticas.

Os dispositivos eletrônicos passaram a representar um papel de destaque no PIR. Com a tecnologia veio também a possibilidade de um maior controle no consumo energético, abrindo um leque de novas ferramentas para implementação do PIR, possibilitando um maior controle de geração e consumo, melhor previsão de demanda, melhor utilização de capacidade instalada, redução de impactos ambientais e sociais e redução dos custos de produção, transmissão e distribuição de energia.

Dentro deste leque de novas ferramentas encontram-se os dispositivos IoT (internet das coisas, do inglês *Internet of Things*). Segundo Adhya et al. (2016), IoT é um ambiente de compartilhamento de informações onde os objetos da vida cotidiana estão todos conectados à rede de internet, possuindo aplicação desde simples controles domésticos até cidades inteligentes, sistemas de energia e segurança industrial.

Através dos dispositivos IoT é possível coletar dados de geração e consumo de energia em tempo real, manter históricos de geração e consumo de acordo com as horas do dia e períodos do ano. É uma ferramenta poderosa para aplicação em sistemas elétricos, permitindo um aprimoramento do Planejamento Integrado de Recursos tanto para o lado da oferta (GLO) quanto para o lado da demanda (GLD).

3.1 DISPOSITIVOS IOT – CONCEITOS GERAIS

3.1.1 Introdução sobre dispositivos IoT

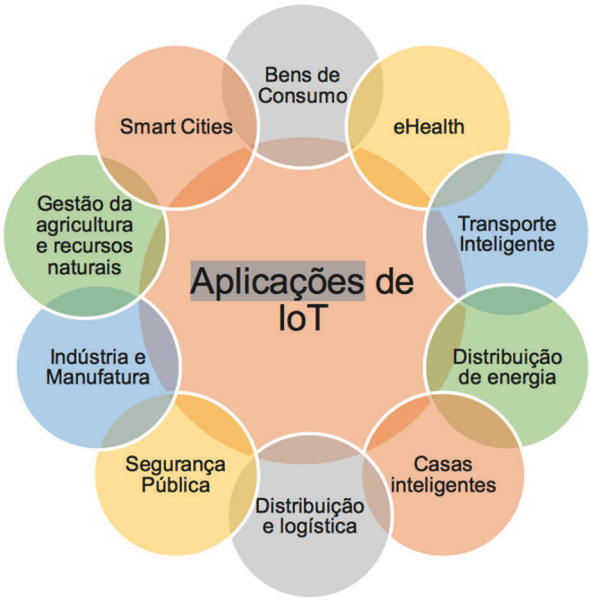
"IoT é um sistema de dispositivos informáticos inter-relacionados, máquinas mecânicas e digitais, objetos ou pessoas que são providos de [...] capacidade de transferir dados através de uma rede [...]." (ROUSE, 2016).

"A *Internet of Things* (IoT) desponta como uma evolução da internet e um novo paradigma tecnológico, social, cultural e digital. O IoT revolucionará os modelos de negócios e a interação da sociedade com o meio ambiente [...]." (MANCINI, 2017).

Segundo Zanella et al. (2014) a Internet da Coisas é um paradigma de comunicação recente que prevê um futuro próximo, no qual todos os objetos da vida cotidiana serão equipados com microcontroladores, transmissores para comunicação digital, que os tornarão capazes de se comunicar um com o outro e com o usuário através da internet. Além da possibilidade de comunicação, esses dispositivos podem ainda fazer levantamento de dados de consumo energético, criando bancos de dados para controle do consumo. Adicionalmente esses dados podem ser utilizados também em outras atividades, como gestão inteligente de energia e *smart grids*, podendo ser utilizados pelos proprietários das residências, como também por empresas de distribuição de energia.

Na Figura 8 é apresentado o potencial disponibilizado pelos dispositivos IoT, apresentando soluções que incluem bens de consumo e saúde, até transportes, casas inteligentes, distribuição de energia e segurança pública.

Figura 8 – Aplicações de IoT.



Fonte: Mancini (2017).

Segundo Mancini (2017), a internet das coisas ainda é um grande desafio, porém apresenta um enorme potencial nas mais diversas áreas. Abrindo uma gama de oportunidades para implementar as mais variadas soluções, incluindo-se aqui o tema deste trabalho de conclusão de curso, que é o PIR. Tais soluções propostas pela internet das coisas vêm unida a um grande impacto tecnológico, social e cultural. Portanto, os dispositivos IoT e o próprio conceito IoT apresentam um extremo potencial para aplicação dentro do Planejamento Integrado de Recursos, auxiliando no levantamento de dados tanto para o lado da oferta quanto para o lado da demanda, a fim de proporcionar dados de qualidade para o desenvolvimento dos estudos de gestão energética e elétrica.

3.1.2 Banco de dados em nuvem

“Um banco de dados em nuvem é uma coleção de conteúdo, estruturado ou não estruturado, que reside em uma plataforma de infraestrutura de computação em nuvem privada, pública ou híbrida.” (ROUSE, 2017)

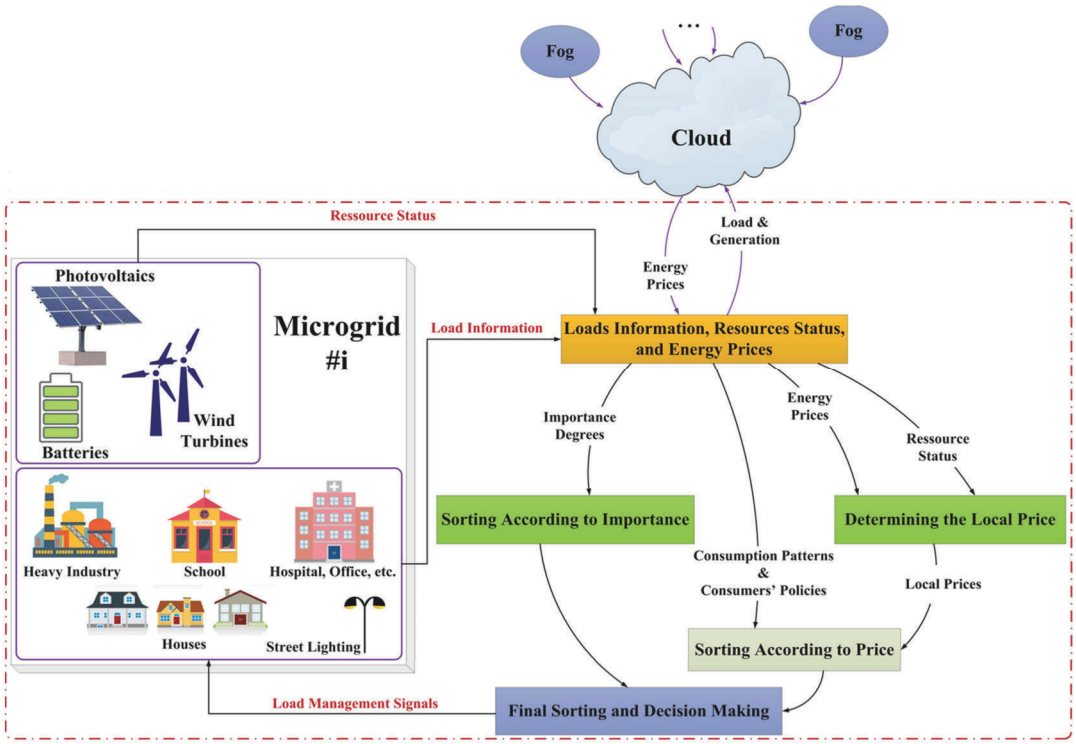
O aumento da geração distribuída de energia e das unidades geradoras por fontes alternativas, na sua maioria caracterizadas por plantas descentralizadas, exige um constante acompanhamento da produção.

Com a utilização da internet principalmente por dispositivos IoT é possível realizar este constante monitoramento e controle. Utilizando-se as *cloud databases* (banco de dados em nuvem) é possível monitorar o nível de carregamento da rede, a quantidade de energia gerada por cada planta geradora e residência com microgeração e o consumo de energia por cada classe consumidora (residencial, comercial ou industrial).

"A combinação de computação em nuvem e IoT [...] permite serviços de detecção e que os dados sejam armazenados e usados de forma inteligente para monitoramento inteligente e processamento poderoso de fluxos de dados." (SHAHRYARI; MOGHADDAM, 2017).

Sabe-se que o controle de carga é uma das principais ferramentas do GLD. A curva de geração de energia está constantemente buscando atender a carga demandada pela rede, porém em centrais geradoras de energia por fontes renováveis, a geração não pode ser prevista com exatidão, ou seja, apresenta um comportamento estocástico. Portanto, em regiões onde há grande quantidade de plantas geradoras de energia por fontes renováveis, uma grande quantidade de dados e informações é necessária para a perfeita operação do sistema. Todos esses dados devem ser transmitidos e processados em diversos pontos, para tanto utiliza-se os dispositivos IoT em conjunto com bancos de dados em nuvem, principalmente por conta da grande quantidade de dispositivos e dados envolvidos na operação de um sistema elétrico. Esse monitoramento pode ser feito através de um sistema similar ao apresentado na Figura 9.

Figura 9 – Monitoramento e controle utilizando dispositivos IoT e banco de dados em nuvem.



Fonte: Shahryari e Moghaddam (2017).

Na Figura 9 verifica-se a possibilidade de funcionamento de um sistema de monitoramento e operação de um sistema de energia através dos dispositivos IoT. Estes são utilizados para um constante monitoramento de centrais de geração distribuída e do consumo de energia elétrica. Estes dados são armazenados nos bancos de dados da distribuidora que retorna o preço horário da energia. É feita a determinação do preço da energia local, são tomadas as decisões finais acerca da operação, e os sinais de gestão de carga e informativo de preço são transmitidos como *feedback* para os consumidores.

3.1.3 Smart Meter

Com o surgimento do conceito de GD, a necessidade de medidores bidirecionais e medidores com conexão à internet foi crescendo, passando-se a substituir os medidores eletromecânicos pelos medidores inteligentes.

Smart meter (medidor inteligente) é um aparelho de medição utilizado para quantificar a energia elétrica consumida por determinada residência ou equipamento.

“Um medidor inteligente captura a unidade consumida em um período de tempo específico, exibe resultados e consequentemente fornece entradas de tempo real para a unidade de cobrança.” (RASTOGI; SHARMA; VARSHNEY, 2016)

Medidor inteligente é uma das aplicações de dispositivos IoT. Esses medidores são capazes de coletar dados, criar um banco de dados, enviar as leituras para o escritório da distribuidora de energia para monitoramento e cobrança, além de possibilitar o acompanhamento da qualidade de energia elétrica, e eventuais detecções de faltas de energia.

> Suas funções combinadas de coleta de dados, comunicação e atuação remota, permitem monitorar e controlar a qualidade e quantidade da energia entregue ao consumidor, tornando possível identificar as perdas técnicas e não técnicas no sistema elétrico e, portanto, adotar ações para melhorar a eficiência do sistema. (FORTES et al., 2017, p. 325)

Segundo Rastogi, Sharma e Varshney (2016), há algumas vantagens na utilização de medidores inteligentes em substituição aos medidores tradicionais, sendo elas:

a) Menor probabilidade de erros e maior confiabilidade nos dados coletados;

b) Medição remota;

c) Facilidade de detecção de fraudes nos medidores;

d) Controle remoto.

“O medidor inteligente deve poder se comunicar com os provedores de serviços públicos. Deve enviar os dados lidos do medidor para o servidor do analisador e receber a resposta operacional.” (RASTOGI; SHARMA; VARSHNEY, 2016)

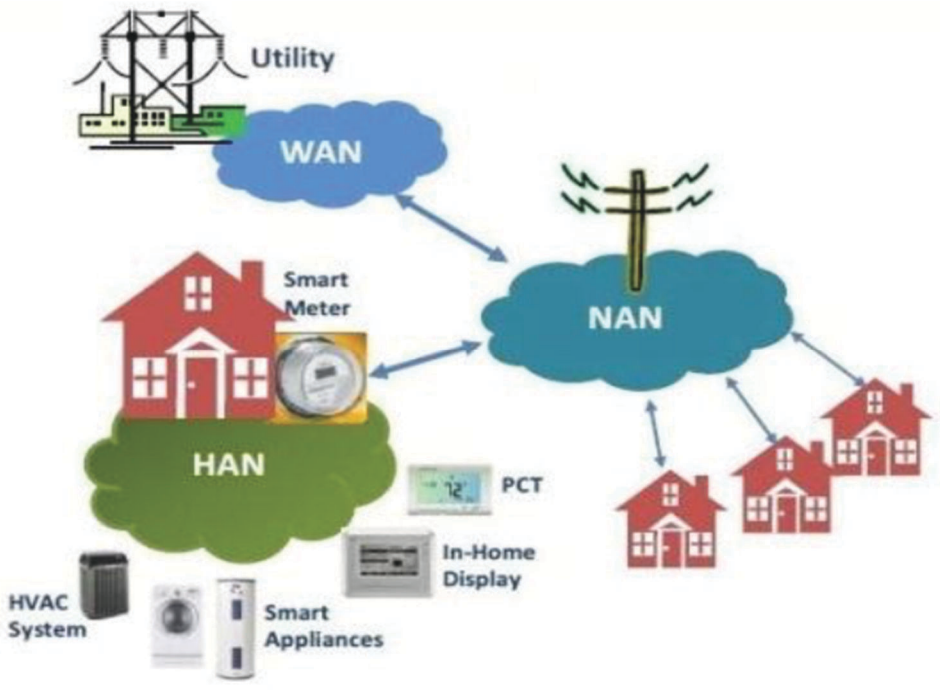
Diversas são as possibilidades de conexão entre os medidores inteligentes e as centrais das distribuidoras. Uma delas é através da própria rede de distribuição já existente, conhecido como PLC (*Power Line Carrier*) ou através de conexão via internet, satélite, Zigbee, etc.

A operação do medidor inteligente pode ser resumidamente explicada de maneira simples. O medidor efetua as leituras do consumo de energia da residência, criando um banco de dados de acordo com as horas do dia. Posteriormente esses dados são enviados, via internet ou PLC, até uma rede local de internet, comumente

uma rede do próprio bairro, e por fim enviados para a central da distribuidora de energia, para análise, contabilização e cobrança. Essas etapas de operação do medidor inteligente de energia podem ser visualizadas na Figura 10.

Com o aumento no consumo de energia, aumento do número de unidades de GD, plantas geradoras descentralizadas, e maior necessidade do controle do consumo e geração de energia, criaram-se também novos desafios e necessitou-se de novas abordagens para lidar com eles, fazendo-se necessária a evolução dos métodos e ferramentas utilizados. A utilização dos medidores inteligentes vem facilitar a aplicação das ferramentas de elaboração de um Planejamento Integrado de Recursos e também do Planejamento da Operação de Sistemas Elétricos e também energéticos. Auxiliando na aplicação de políticas e medidas de GLD e GLO, os medidores inteligentes se mostram aliados potenciais para o controle, operação e planejamento futuros.

Figura 10 – Processo de coleta e envio de dados do smart meter.



Fonte: Rastogi, Sharma e Varshney (2016)

3.2 ABORDAGEM DO GLD COM DISPOSITIVOS IOT

Duas ferramentas que podem representar uma grande melhoria no PIR, principalmente se utilizadas em conjunto, são: Gerenciamento pelo Lado da Demanda (GLD) e *Internet of Things* (IoT).

A utilização do GLD juntamente com os dispositivos IoT, onde todos os equipamentos se encontram conectados à internet, aumenta o seu potencial, permitindo a coordenação de sistemas distribuídos em diversos edifícios.

“O GLD também pode obter uma grande sinergia com [...] sistemas fotovoltaicos: quando há recursos de geração e armazenamento no ponto de consumo, é possível otimizar o funcionamento e reduzir a carga total na rede elétrica.” (THE GRID, 2017).

Porém, é preciso estar consciente e saber de que maneira utilizar o poderoso recurso disponibilizado pelos dispositivos IoT. Segundo The Grid (2017), a maior limitação para a adoção do GLD em grande escala, é o desafio de operar milhões de sistemas distribuídos de maneira coordenada e reduzir a demanda por energia de maneira efetiva. Portanto, com a expansão do conceito de IoT aplicado a praticamente todos os dispositivos, há uma plataforma comum onde as empresas podem criar seus próprios sistemas de controle para o GLD.

Como um exemplo para a aplicação e utilização do GLD com auxílio de dispositivos IoT, pode-se pensar na seguinte situação:

a) Proprietário decide fazer instalação de dispositivos IoT para controle do consumo de energia elétrica para a tarifa branca;

b) A concessionária local tem total acesso aos dados de consumo da residência de maneira automatizada, permitindo implementação de estratégias de GLD;

c) O consumo de energia por parte do proprietário da residência pode diminuir ou ser feito fora de horário de pico, por exemplo, reduzindo o valor pago em sua conta de energia elétrica, fazendo-se o controle por GLD e controle de consumo horário por conta da tarifa branca.

“As novas tecnologias de dispositivos IoT são essenciais para a implementação de sistemas elétricos em cidades inteligentes (*smart cities*), reduzir os impactos ambientais e os custos sociais.” (FIORENTINO; CORSI, 2015).

Segundo Shahryari e Moghaddam (2017), programas de GLD podem ser implementados através também da integração de *smart meters* (medidores inteligentes) e dispositivos IoT, fornecendo aos clientes informações do consumo de energia e preço. Permitindo que os clientes recebam informações e motivações para mudar seu padrão de consumo, auxiliando em um consumo de energia de forma eficiente. Permite ainda incorporar todas as fontes de energia renováveis, geração distribuída, microgeração residencial e opções de armazenamento.

Portanto, os dispositivos IoT vieram a agregar diversas funcionalidades e permitir a elaboração de programas de GLD de maneira mais prática e eficiente, permitindo acesso em tempo real a dados de consumo para análise e controle. Garante a operação de milhões de sistemas distribuídos de maneira coordenada, possibilitando a operação do sistema da maneira econômica e segura.

3.2.1 Controle de serviços energéticos por dispositivos IoT

O aumento no custo e demanda por energia tem levado muitos consumidores e organizações a encontrarem maneiras de monitorar o seu consumo energético, promovendo um maior controle e economia de consumo de energia.

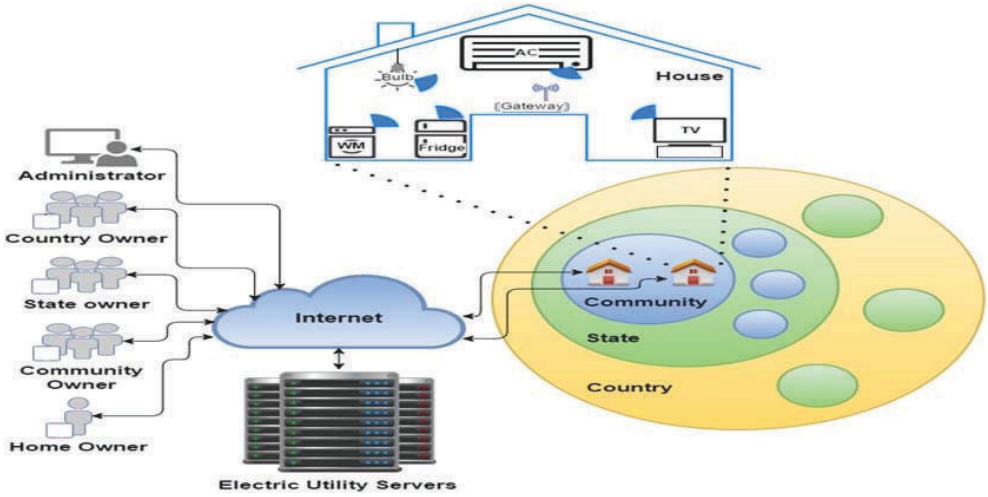
Os dispositivos IoT apresentam poderosas ferramentas de comunicação, controle e gerenciamento de dados. Em aplicações que envolvem a necessidade de uma coleta de dados em tempo real, como a operação de sistemas energéticos de grande porte, estes dispositivos são de extrema utilidade.

Além do controle geral do consumo de energia elétrica, que pode ser feito através dos medidores inteligentes (*smart meters*), utilizando o conceito de IoT é passível de implementação sistema de coleta de dados por equipamento e por uso final da energia elétrica consumida. Segundo Al-Ali et al. (2017) sensores sem fio instalados em cada equipamento de uso final enviam dados diretamente para bancos de dados centralizados, permitindo acessar os dados e controlar os equipamentos de qualquer parte do mundo. Além disso, as companhias de

distribuição de energia podem ter acesso a estes dados, promovendo uma melhor operação dos sistemas energéticos com segurança e confiabilidade. Contudo, vale ressaltar que a segurança da informação, tanto na coleta e tratamento dos dados, quanto na transmissão dos mesmos deve ser tida como um princípio fundamental. Para evitar ataques ao setor elétrico e até mesmo manipulação de valores dentro da contabilização.

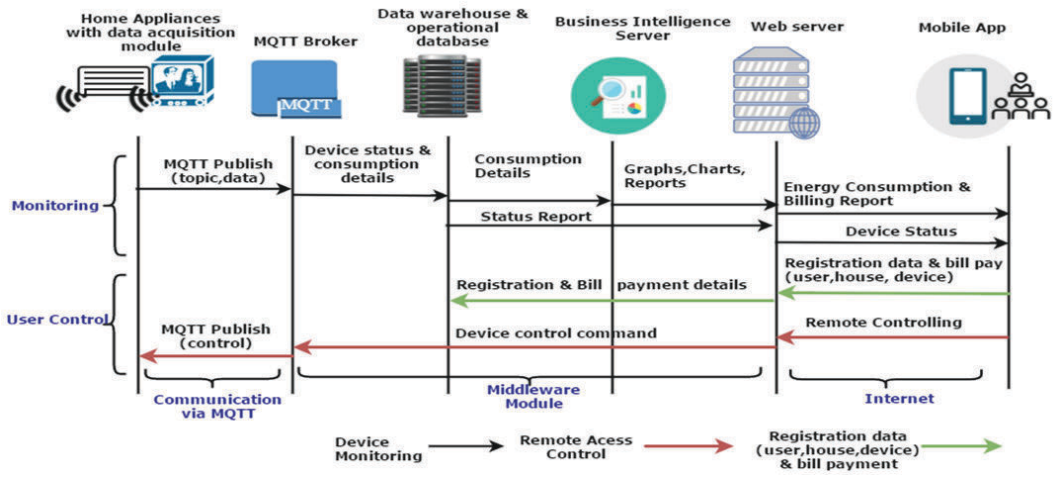
O sistema proposto por Al-Ali et al. (2017) compreende a coleta e armazenamento de dados de consumo de energia elétrica e as condições do ambiente. Esses dados são transmitidos a bancos de dados para a construção de gráficos e relatórios. Clientes têm acesso aos dados coletados, assim como operadores dos sistemas energéticos em escala municipal (comunitária), estadual e até mesmo federal. Os clientes podem ainda interagir com os dados coletados, sendo possível além da visualização, o controle dos dispositivos e até mesmo pagamento de contas. O esquemático do sistema proposto encontra-se na Figura 11, e o seu diagrama da sequência de operações na Figura 12.

Figura 11 – Arquitetura de sistema de medição de serviços energéticos por dispositivos IoT.



Fonte: Al-ali et al. (2017)

Figura 12 – Diagrama de sequência de operações.



Fonte: Al-Ali et al. (2017)

Portanto, cabe adequar as necessidades do mundo moderno, como conscientização no consumo energético, com as possibilidades de implementação e uso das tecnologias existentes. Para fins residenciais sabe-se que a maior parte da demanda energética por uso final é para serviços de iluminação e serviços térmicos. Sendo assim, a seguir será abordado brevemente a utilização dos dispositivos IoT para o controle dos serviços energéticos de iluminação e térmicos. No Capítulo 4 será mostrado um exemplo de implementação deste sistema de medição para quantificar a demanda por estes serviços energéticos.

Além disso, vale ressaltar que os dados coletados e o sistema proposto por Al-Ali pode ser utilizado, além de auxiliar para implementação de programas de GLD, também como auxiliar em processos de Resposta da Demanda, uma vez que permite o controle de carga através de aplicativos móveis, e também o acompanhamento do consumo energético em tempo real.

3.2.1.1 Controle dos serviços energéticos – iluminação e térmicos

De acordo com a Agência Internacional de Energia (2006) os gastos com iluminação (em todos os setores) representam cerca de 19% de toda a energia gerada no mundo.

A demanda pelo serviço energético iluminação tende a ser cada vez maior com o passar dos anos, considerando-se que o mesmo acompanhará o crescimento no consumo de energia. Para atender, portanto, essa crescente demanda é

necessário investimentos em PIR, ou seja, a avaliação de opções tanto pelo lado da oferta (GLO) como pelo lado da demanda (GLD).

Em geral, no caso de serviços de iluminação, programas de GLD são mais amplamente difundidos, como substituição de lâmpadas por modelos mais econômicos, sensores de luminosidade visando controlar a intensidade luminosa, dentre outras metodologias impostas até mesmo utilizando canais de comunicação como TVs e rádio.

Os serviços de iluminação seguem a norma NBR ISO/CIE 8995-1. Esta norma define os limites mínimos de iluminância por ambiente e por atividade desempenhada, mas também valores máximos por ofuscamento. Projetos luminotécnicos bem elaborados podem representar uma redução no consumo de energia elétrica para iluminação, acarretando em um melhor dimensionamento e uso da capacidade de iluminação instalada.

Segundo Al-Ali et al. (2017) a utilização de sensores sem fio pode ser aplicada desde os serviços energéticos térmicos até os serviços de iluminação e tomadas. Os dispositivos IoT podem ser utilizados para o constante monitoramento de atividades dentro de um ambiente de trabalho, com o valor de iluminância pré-definido por norma. Caso haja atividade no local, o acendimento das lâmpadas é feito de maneira automática.

Aplicando este conceito juntamente com conceitos de eficiência energética do PIR, é possível monitorar constantemente o nível de iluminação e controlar este nível dentro da iluminância mínima estabelecida por norma. Considerando, também, a parcela de iluminação natural presente no ambiente, e até mesmo considerar o fornecimento de serviço energético de iluminação apenas dentro de uma área específica do ambiente que está sendo utilizada.

Através deste controle, além de possível controlar o serviço energético de iluminação através da implementação de um programa de GLD. Os dados de consumo deste uso final podem ser enviados a bancos de dados, onde a distribuidora pode ter acesso e utilizá-los para possíveis estudos de consumo de energia por uso final. O sistema de controle pode ser o mesmo apresentado anteriormente, na Figura 13.

Segundo Al-Ali et al. (2017) serviços energéticos de aquecimento e resfiramento chegam a representar cerca de 60% do consumo de energia em países do Golfo Árabe. Já no Brasil, segundo Pessoa e Ghisi (2015) o consumo de energia elétrica com condicionamento de ar atingiu cerca de 84 TWh, aproximandamente 12,6% de toda a energia consumida no país. Sabe-se que tratam-se de países de clima equatorial e desértico, sendo necessária a utilização de condicionadores de ar praticamente 24 horas por dia.

Além dos países equatoriais, países de clima frio como a Finlândia, utilizam sistemas de controle de temperatura para as partes internas de edifícios, que por sua vez representam uma boa fatia do consumo de energia elétrica por residências, comércios e industrias.

Assim como os serviços de iluminação, os serviços térmicos também podem sofrer ações de GLD. Essas ações podem ser compreendidas desde alternativas de eficiência energética, como a utilização da radiação ou ventilação natural para aquecimento ou resfriamento do ambiente; ou a substituição das unidades aquecedoras/refrigeradoras por unidades mais eficientes.

Segundo Al-Ali et al. (2017), esses dados também podem ser coletados por sensores sem fio e enviados para bancos de dados online. A análise desses dados permite um controle do nível de serviço térmico, permitindo controle da temperatura, mas também o controle no consumo energético, seja de gás ou energia elética para este aquecimento.

3.2.2 Controle e monitoramento da energia elétrica por dispositivos IoT (Gestão Elétrica)

“A eletricidade é a necessidade mais básica de todos neste mundo moderno. O gráfico de consumo de energia está aumentando dia a dia, quando os recursos da energia estão diminuindo paralelamente.” (SINDHUJA; BALAMURUGAN, 2015).

No monitoramento do consumo de energia elétrica, tem-se os dispositivos IoT, através de medidores inteligentes, como excelentes aliados. Segundo Sindhuja e Balamurugan (2015) utilizando em conjunto sensores e controladores com acesso a redes de internet, é possível desenvolver um sistema que ajuda no controle do

consumo de energia e também reduz as perdas através de um contínuo controle de aparelhos elétricos. Hu e Li (2016) desenvolveram um software para aplicação nesta área, baseado em sensores e conexões via internet, permitindo detectar a atividades humanas, promovendo redução no consumo de energia elétrica sem a necessidade de intervenção humana.

Contudo, no monitoramento de parâmetros elétricos não se deve levar em consideração apenas a energia elétrica consumida, mas também a qualidade da energia entregue ao consumidor final. Segundo ANEEL (2016) a qualidade da energia recebida pelos consumidores é um parâmetro elétrico a ser monitorado, sendo que estes parâmetros e seus limites são tratados dentro do Módulo 8 do PRODIST, que estabelece os procedimentos relativos à qualidade da energia elétrica. Dentre os parâmetros da qualidade do serviço de distribuição pode-se elencar três parâmetros principais: qualidade do produto “energia elétrica” (conformidade da tensão em regime permanente e frequência), qualidade do serviço de distribuição e a qualidade no atendimento do consumidor.

Como auxiliar no processo de monitoramento desses parâmetros e também como auxiliar das distribuidoras de energia na manutenção dos parâmetros elétricos da rede, os dispositivos IoT se apresentam como uma ferramenta potencial. Os dispositivos IoT aplicados aos medidores inteligentes, que já foram objeto de discussão neste trabalho, possibilitam a gestão dos parâmetros elétricos diretamente no ponto de conexão do consumidor com a rede de distribuição. Possibilitando acesso a esses dados em tempo real, permitindo controle dos níveis de tensão e frequência no ponto de entrega, bem como detecção de faltas e solução destas de maneira eficiente e efetiva, melhorando a qualidade no serviço de distribuição.

Com o aumento do número de unidades consumidoras que se encaixam no conceito de GD, se torna cada vez mais difícil a operação dos sistemas de distribuição de energia elétrica. A possibilidade de uso de dispositivos IoT como auxiliares na operação de sistemas de distribuição, tanto através da coleta de dados por medidores inteligentes e outros sensores, como pela atuação em manobras relacionadas a operação do sistema, visando o menor custo econômico, ambiental e social, deve ter uma importância considerada.

Segundo Al-Ali e Aburukba (2015), nas redes de distribuição, diversos equipamentos de controle podem ser considerados como, ou controlados por dispositivos IoT. Dentre eles podemos citar: religadores, chaves, bancos de capacitores, taps de transformadores, iluminação pública, atuadores em subestações, etc. Esses equipamentos podem atuar através de intervenções humanas ou através de análises automáticas de dados em tempo real, procurando a operação do sistema de acordo com os padrões impostos pela ANEEL.

Por fim, os dispositivos IoT podem não somente ser auxiliares na redução do consumo de energia elétrica, como também auxiliar na manutenção dos parâmetros elétricos de um sistema de distribuição, permitindo a operação de atuadores e outros dispositivos de manobra, visando a operação do sistema ao menor custo e dentro dos parâmetros de qualidade de energia elétrica exigidos.

3.2.3 Previsão de carga futura (gestão energética)

A energia está presente em todas as atividades do ser humano, e nas mais variadas formas. Em residências utiliza-se primordialmente a energia elétrica, porém esta é transformada em outras formas de energia, as chamadas energias de uso final, tais como: refrigeração/aquecimento (energia térmica), iluminação (energia luminosa), etc. Já em indústrias a energia elétrica é convertida em energia mecânica, através de motores e outras máquinas síncronas e assíncronas.

Porém, sabe-se também que a própria energia elétrica é obtida através da transformação de outras formas de energia. As principais fontes de energia do mundo moderno são as fontes hidráulicas, eólica, solar, biomassa, combustíveis fósseis e nuclear.

Para a previsão de carga futura no que diz respeito a gestão energética, deve-se considerar as mais variadas formas de energia (térmica, luminosa, elétrica, motriz, etc.) e efetuar um levantamento da necessidade energética para cada um desses ditos usos finais.

“O paradigma da Internet das Coisas (IoT) promete melhorar a visibilidade e consciência do consumo energético, graças a sensores e medidores inteligentes

nas próprias máquinas e nas linhas de produção.” (SHROUF; MARAGLIOTTA, 2015).

Segundo Shrouf e Maragliotta (2015) a tecnologia IoT provê uma maior consciência no consumo energético, uma vez que proporciona acesso a dados de consumo energético em tempo real, dando suporte a tomada de decisões e ações de forma mais eficaz, rápida e efetiva.

No que diz respeito à previsão de carga futura, os dispositivos IoT representam-se como um enorme aliado. “Os modelos de sistemas energéticos existem há várias décadas e estão experimentando uma constante evolução para incorporar novas tecnologias, paradigmas e externalidades (como preocupações com o meio ambiente).” (CALVILLO; SÁNCHEZ-MIRALLES; VILLAR, 2015)

Considerando toda uma cidade, é, portanto, cada vez mais desafiador o levantamento da carga a ser requerida, do ponto de vista energético, sendo que o planejamento e operação desse sistema, também influencia o uso e necessidade energética.

A utilização de dispositivos baseados no conceito de IoT pode ajudar no levantamento dos recursos energéticos necessários, como também dos recursos energéticos disponíveis em determinada região geográfica. Sensores em estações meteorológicas podem fazer levantamentos dos níveis de insolação para uma possível instalação de uma planta solar fotovoltaica. Ou dados pluviométricos trazendo o levantamento das chuvas esperadas em determinada bacia hidrográfica para aproveitamento hidrelétrico.

Segundo Zanella et al. (2014), um sistema urbano baseado em dispositivos IoT fornece um serviço para monitorar o consumo energético, auxiliando as autoridades e cidadãos a ter uma visão clara e detalhada da quantidade de energia necessária nos diferentes serviços (iluminação, força motriz, semáforos, câmeras de controle, aquecimento/arrefecimento de prédios públicos, etc.). Isto, por sua vez, permitirá identificar as principais fontes de consumo energético e estabelecer ações para otimizar seu comportamento. Para obter esse serviço, os dispositivos de monitoramento de tração de energia devem ser integrados com a rede elétrica da cidade. Além disso, também será possível aprimorar esses serviços

com funcionalidades ativas para controlar estruturas de produção de energia locais (por exemplo, painéis fotovoltaicos).

Segundo Calvillo, Sánchez-Miralles e Villar (2015) até alguns modelos de edifícios estão utilizando sensores para obter informações geográficas e modelos 3D para obter vantagens de acordo com a configuração do solo (para assim reduzir o consumo de energia térmica), a orientação segundo o sol (aproveitando mais a iluminação natural e aquecimento no inverno), a direção do vento (obtendo ventilação natural), entre outros pontos.

Porém, após a etapa de construção, é ainda possível a gestão energética buscando reduzir cada uma dessas demandas energéticas. Utilizando sensores e acompanhamento de dados em tempo real utilizando dispositivos IoT, é possível abrir e fechar sistemas de ventilação remotamente; abrir e fechar cortinas para um maior aproveitamento da luz e calor proveniente do sol; dentre outros.

> A fim de alcançar o melhor gerenciamento de energia em um sistema complexo como uma cidade inteligente, não só faz a maior parte de sua energia os elementos precisam ser identificados e estudados, mas as relações implícitas entre eles também devem ser consideradas. Além disso, modelos detalhados e simulação são necessários para validar e melhorar os sistemas existentes e novos.
>
> Informações geográficas precisas sobre recursos naturais (vento, energia solar, etc.) também são importantes para o bom resultado de um processo de planejamento. Além disso, demonstrou-se que o uso de algum tipo de algoritmo de otimização melhora consideravelmente os benefícios esperados; portanto, recomenda-se que tais abordagens sejam seguidas. Por último, considerando a complexidade dos sistemas, os objetivos do modelo devem ser claramente definidos e priorizados. Abordar todas essas questões permite a criação de um modelo completo e adequado de energia inteligente, que auxilie os tomadores de decisão do governo e da indústria para desenvolver, simular e implementar os melhores sistemas a um custo mínimo, promovendo cidades mais inteligentes e mais eficientes. (CALVILLO; SÁNCHEZ-MIRALLES; VILLAR, 2015, p.283)

3.3 ABORDAGEM DA RESPOSTA DA DEMANDA COM INSERÇÃO DA TARIFA BRANCA E MONITORAMENTO POR DISPOSITIVOS IOT

3.3.1 Resposta da Demanda

Segundo Chen e Lan (2014), a Resposta da Demanda (DR) é um método, para ajustar o preço da energia elétrica, que é utilizado pelos fornecedores de energia. Ele permite que as características de utilização da energia por parte dos

clientes sejam sintonizadas, reduzindo o preço total da energia e atenuando o pico de demanda nas horas de ponta.

Como auxiliar no processo de DR destacam-se as estruturas avançadas de medição (AMI – do inglês *Advanced Metering Infrastructure*) que possibilitam, tanto para o lado da oferta quanto para o lado da demanda, transmitir informações sobre o preço da energia e a demanda pela mesma. Nesse contexto de transmissão de informações se encontra um dos enfoques deste relatório, os dispositivos IoT através dos medidores inteligentes.

No processo de DR, a distribuidora de energia altera o preço da mesma de acordo com o CMO, correspondente ao preço da energia da última usina despachada. Isto levaria os consumidores a uma alteração no seu padrão de consumo de energia. Contudo, ambas as partes, tanto as distribuidoras como os consumidores, podem alcançar bons resultados com a aplicação de tal metodologia.

Segundo Chen e Lan (2014), para os clientes isto pode representar a mudança no consumo de energia durante os horários de pico, para outros intervalos onde o preço da energia se encontra mais baixo. Para as distribuidoras, por exemplo, diminuir o pico de demanda nos horários de ponta, significa não necessitar energia de usinas geradoras de ponta, que apresentam um preço mais elevado; mas também, melhor dimensionamento e fator de utilização das redes de distribuição e transmissão, que podem ser melhor dimensionadas, não necessitando superdimensionamento para atendimento da demanda em apenas algumas horas do dia.

Recentemente houve um grande aumento na utilização das fontes renováveis de geração de energia, principalmente a energia solar fotovoltaica. Com a utilização dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR), os resultados esperados da DR podem ser ainda mais vantajosos.

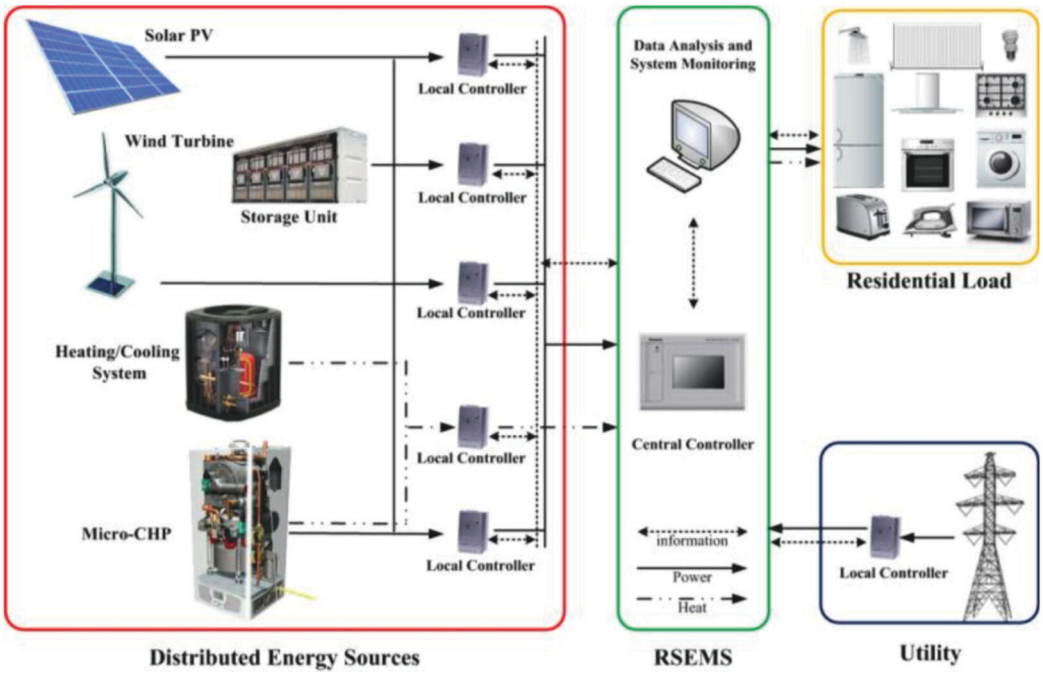
Quando da presença de um SFCR, juntamente com armazenamento da energia em bacos de baterias, o consumidor pode optar por consumir energia da rede elétrica ou de seu próprio armazenamento quando lhe for conveniente, aplicando o conceito de DR. “O aumento na utilização de armazenamento de energia pode reduzir as variações na quantidade de energia gerada, reduzir a

demanda na ponta e fora de ponta, compensar incertezas de produção das fontes renováveis e melhorar o fornecimento.” (CHEN; LAN, 2014)

Na Figura 13 pode-se observar um diagrama de blocos que representa um sistema elétrico com presença de fontes alternativas de geração de energia, controlados por dispositivos IoT e com DR automática. Segundo Anvari-Moghaddam et al. (2015), no sistema mencionado na Figura 13, tanto as ações de GD e DR são operadas de maneira a elevar a eficiência do sistema e atender as necessidades do usuário. Nesta estrutura um modelo de sistema de gestão elétrica desempenha o papel principal e gerencia a produção e consumo de energia elétrica por parte da residência de forma otimizada em relação a diferentes objetivos e restrições relacionadas. Também se destaca a presença de fontes alternativas de energia (solar e eólica) e bancos de baterias, sendo estas fontes utilizadas como fontes primárias de energia para o sistema, enquanto a rede de transmissão (*utility*), é utilizada como um sistema de emergência, garantindo a estabilidade do sistema.

Ainda segundo Anvari-Moghaddam et al. (2015), conforme aumenta-se a quantidade de dispositivos conectados à rede elétrica, sejam eles, usinas de geração de energia renovável, centrais de GD, baterias, e outras formas de geração e consumo, a DR se torna uma tarefa cada vez mais difícil de ser efetuada, porém cada vez mais essencial. Com a utilização dos dispositivos IoT, centrais de geração e consumo constantemente enviam os dados necessários para bancos de dados, onde esses são analisados. Após a análise, decisões de manobra são tomadas tanto por parte da distribuidora, como também automaticamente pelos dispositivos de controle também operados por dispositivos IoT, essas manobras são efetuadas tanto na rede como também em aplicações residenciais.

Figura 13 – Diagrama de blocos de um sistema baseado em DR para aplicação residencial com geração de energia por fontes alternativas.



Fonte: Anvari-Moghaddam et al. (2015)

Na utilização dos medidores inteligentes e dispositivos IoT na DR, o controle do consumo de energia baseado no preço horário da energia passou a ser possível. O acesso em tempo real, por parte dos consumidores, ao preço da energia, e por parte das distribuidoras ao consumo horário de energia, possibilitaram alcançar excelentes resultados. Com utilização conjunta de SFCR, bancos de baterias, medidores inteligentes e dispositivos IoT, passou a ser possível aplicar a DR de maneira ainda mais eficaz, eficiente e efetiva.

Portanto, através da utilização em conjunto dos dispositivos IoT, medidores inteligentes e a DR, além do controle baseado no preço em tempo real da energia, ainda é possível alterar entre a utilização da energia vindo da rede ou das baterias; utilizar o sistema fotovoltaico para carregar as baterias, fornece energia para a residência ou para a rede; carregar as baterias utilizando o sistema fotovoltaico ou a rede; entre uma série de outras opções. Para isso, os dispositivos IoT podem ser utilizados, fazendo um controle automático baseado na otimização de funções multicritérios, buscando o menor custo para a energia.

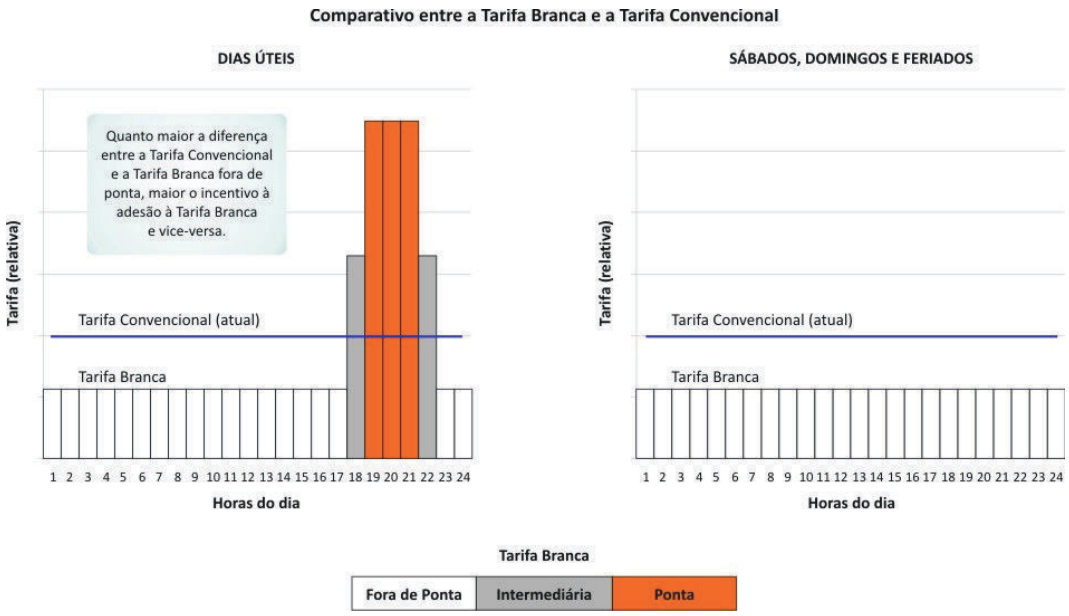
3.3.2 Tarifa branca de energia elétrica

A partir de 1º de janeiro de 2018 entrou em vigor a Tarifa Branca, a qual todas as distribuidoras do país deverão atender a solicitações de adesão. Esta tarifa sinaliza aos consumidores o valor da energia conforme o dia e o horário de consumo.

Segundo ANEEL (2017) ela é oferecida para unidades consumidoras atendidas em baixa tensão e inicialmente contemplará consumidores com média mensal de consumo acima de 500 kWh. A partir de 2019 será permitida a migração de consumidores com média mensal de consumo acima de 250 kWh e em 2020 para os consumidores de qualquer faixa de consumo.

Com a adesão a tarifa branca, os consumidores pagarão diferentes valores pela energia de acordo com o dia da semana e as horas de utilização. Durante os dias úteis a tarifa branca terá três postos tarifários: ponta, intermediário e fora ponta. Nos finais de semana a tarifa não varia de acordo com as horas de utilização do dia. Na Figura 14 é possível analisar um comparativo entre tarifa branca e tarifa convencional.

Figura 14 - Comparativo entre Tarifa Branca e Tarifa Convencional.



Fonte: ANEEL (2017)

Antes da criação da Tarifa Branca, havia apenas a Tarifa Convencional, que possuía um único valor (R$/kWh) cobrado pela energia consumida em todos os

dias e todas as horas. Com a introdução da Tarifa Branca visa criar condições para incentivar os consumidores a deslocarem o seu consumo dos períodos de ponta e intermediário para os períodos fora de ponta, período este que a rede possui uma capacidade de transferência de potência ociosa.

A Tarifa Branca vista pela abordagem do PIR, nada mais é que uma alternativa de GLD buscando deslocamento do pico de consumo e preenchimento dos vales da curva de carga, ou seja, uma estratégia de gestão de carga.

Segundo ANEEL (2017), se o consumidor não conseguir adequar seu consumo ao horário fora de ponta, e continuar consumindo grande parte da energia dentro do horário de ponta, sua fatura de energia elétrica no final do mês pode até aumentar. Sabe-se que este procedimento de ajuste de consumo muitas vezes não é de fácil adequação.

Portanto, nada mais sensato que utilizar as tecnologias disponíveis no mercado como auxiliares deste processo. É aí que entram os dispositivos IoT, com toda sua funcionalidade e controle de carga, podem auxiliar na automatização de processor, permitindo a utilização de determinados equipamentos apenas em horários estratégicos, visando o conforto dos consumidores e também redução no seu consumo de energia elétrica. Além de auxiliar no controle do consumo de energia dentro da estrutura da Tarifa Branca, estes dispositivos também podem ser utilizados como auxiliares em outros programas de GLD, fazendo monitoramento da carga, como também em sistemas de resposta a demanda. Estes temas serão abordados a seguir, sendo feita uma análise crítica do desempenho de alguns sistemas já implementados e estudados.

3.3.3 Análise crítica de desempenho de sistemas de resposta da demanda e da Tarifa Branca com dispositivos IoT

Sabe-se que diversos fatores devem ser levados em consideração na hora de analisar diferentes sistemas de resposta da demanda e controladores baseados na estrutura tarifária branca. Dentre eles pode-se destacar a velocidade de processamento de dados, velocidade dos servidores, aplicativos bem desenvolvidos, segurança, preço de implementação, dentre outros.

A análise será feita com base em dois sistemas desenvolvidos por Mashima e Chen (2016) e Al-Ali et al. (2017). Esta análise crítica considera desde a coleta de dados e envio para bancos de dados em servidores, até a utilização de aplicativos para controle da resposta da demanda e do consumo horário na tarifa branca.

Segundo Mashima e Chen (2016) ainda há algumas barreiras na implementação da resposta da demanda em larga escala. Em primeiro lugar destacam o custo de aquisição dos dispositivos necessários para implementação da resposta da demanda, como novos *gateways* e dispositivos de controle, como também a mão de obra para instalação. Há também os consumidores que são relutantes com o controle por parte da concessionária de distribuição das atividades dentro de suas próprias residências.

Vale lembrar que o engajamento dos consumidores na resposta da demanda é de extrema importância. Uma relação estreita entre estes e as distribuidoras é essencial para aumentar a probabilidade de sucesso na implementação de programas e nas ações tomada, além de guiar os consumidores a tomar as decisões corretas no momento que um evento de resposta da demanda ocorrer.

Em seu artigo Mashima e Chen (2016) propõem uma alternativa de sistema de resposta a demanda buscando um menor custo de aquisição, informativos automáticos e maior engajamento dos consumidores, além de sistemas de resposta em tempo real para acompanhamento dos dados. Com a utilização de smartphones e tablets, o aplicativo pode ser facilmente difundido e a necessidade de novos gateways se torna obsoleta. Além disso, o próprio cliente é capaz de controlar os dispositivos em sua casa de maneira remota, não mais a distribuidora; sendo assim, dados de estado de equipamentos, dados de consumo, e até mesmo o controle e informativos de operação estarão prontos para acesso em tempo real.

Neste sistema de resposta da demanda, a distribuidora é responsável pela manutenção dos servidores (DR *Server*). Cada grupo de consumidores tem seus dados coletados e agrupados, para então serem enviados ao servidor final. Estes servidores podem ser alocados tanto de maneira física como em nuvem, cabendo alteração em custos de implantação de um ou outro programa. Além do

monitoramento, este sistema permite o controle dos equipamentos no caso de um evento de resposta da demanda, seja através dos medidores inteligentes ou dispositivos IoT.

Analisando o sistema desenvolvido por Mashima e Chen (2016) percebe-se que o mesmo é compatível como um grande número de diferentes dispositivos IoT, o que facilita de o consumidor utilizar equipamentos que já possui, diminuindo assim o custo de aquisição para praticar o programa.

O tempo para efetuar a tarefa desde o recebimento da notificação de evento de resposta da demanda necessário, até a execução do controle é relativamente rápido, não ultrapassando 150 ms; contudo, considerando redes congestionadas e agilidade do usuário, considera-se que o tempo total entre recebimento da notificação e tomada de ação não supere 4 s.

A comunicação em escala também é um fator importante de análise para a aplicação de sistemas de resposta da demanda. Para tanto, simulações apresentaram resultados satisfatórios neste quesito, sendo que o sistema poderia ser aplicado em escala municipal sem problemas.

No sistema desenvolvido por Al-Ali et al. (2017) a implementação conta também com smartphones e tablets, contudo, utiliza sensores de temperatura e humidade, além de sensores de iluminação, ou seja, faz medições no próprio uso final da energia, sendo possível também a aplicação de estratégias de resposta da demanda. Os resultados obtidos pelo autor são análogos aos obtidos por Mashima e Chen (2017), podendo-se então tirar conclusões satisfatórias sobre a implementação de sistemas de resposta da demanda.

Por fim, considerando a crescente penetração das tecnologias IoT em residências, comércios e indústrias, é muito atrativo para as concessionárias a implementação de sistemas de resposta da demanda para o controle de carregamento de suas linhas e também controles de estabilidade.

3.4 CONCLUSÃO

Percebe-se que os dispositivos IoT apresentam-se como grandes aliados no processo de Planejamento Integrado de Recursos Energéticos. Podem ser

aplicados como mecanismo auxiliar tanto nos processos de GLD como também de GLO.

A aplicação dos dispositivos IoT varia desde a gestão dos parâmetros elétricos e energéticos, como a gestão de carga futura e controle do consumo de energia de acordo com o uso final.

Com a utilização destes dispositivos a DR pode ser aplicada de maneira mais abrangente, permitindo troca de informações sobre consumo e preço da energia entre as distribuidoras e os consumidores, acarretando em uma operação do sistema de distribuição de maneira mais econômica, trazendo benefícios tanto para o lado da oferta quanto da demanda.

Com o advento da estrutura tarifária branca, os dispositivos IoT se mostram potenciais auxiliares dos consumidores. Permitem controlar dispositivos remotamente ou efetuando programações horárias da operação de máquinas ou eletrodomésticos.

4 ESTUDO DE CASO DA UTILIZAÇÃO DE DISPOSITIVOS IOT PARA CONTROLE DOS SERVIÇOS ENERGÉTICOS DE ILUMINAÇÃO E TÉRMICOS

O presente estudo de caso foi desenvolvido em parceria com a instituição de ensino finlandesa HAMK University of Applied Sciences, através do Programa de Intercâmbio Institucional para alunos do IFSC 12ª Edição (PROPICIE 12). O tempo de participação no programa foi de três meses, período este entre setembro e dezembro de 2017. Todos os equipamentos utilizados (microcontroladores, sensores, computadores) foram adquiridos pela instituição de ensino finlandesa e disponibilizados para utilização. Cabe ressaltar que graças a um auxílio financeiro do IFSC foi possível a realização de tal intercâmbio e desenvolvimento deste trabalho.

Neste estudo de caso considerou-se a aplicação de estratégias de eficiência energética dentro de um programa de GLD. Onde a medição e controle do uso de energia luminosa e térmica foi feito, afim de reduzir o gasto de energia elétrica com este uso final. Para tanto foram utilizadas ferramentas de *hardware* e *software* que são apresentadas nas seções seguintes. Todos os dados coletados são referentes ao ambiente interno do laboratório onde os estudos foram realizados, e foram coletados já considerando a implementação do controle de luminosidade e serviços de aquecimento/resfriamento.

4.1 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS SECUNDÁRIAS

Conforme já abordado anteriormente, os dispositivos IoT são amplamente utilizados para os mais diversos propósitos. Salientou-se também a utilização destes dispositivos em medidores inteligentes, e também a necessidade da utilização de bancos de dados em nuvem para um melhor armazenamento e controle dos dados coletados, principalmente se tratando de acesso a dados coletados em estações remotas.

Dentro deste estudo de caso e a implementação deste sistema, utilizou-se a plataforma IoT HUB da Azure. Esta plataforma permitia o upload e armazenamento dos dados coletados pelos sensores e micro controlador. Na sequência é explicado mais sobre esta plataforma de extrema importância para a utilização dos dispositivos

IoT baseados em bancos de dados online. Ressalta-se que esta não é a única, porém, para este projeto, esta foi a plataforma selecionada por possuir uma opção grátis e com os recursos necessários.

Após a coleta dos dados utilizou-se ainda um aplicativo da plataforma Microsoft, o Microsoft Power BI. Este aplicativo foi utilizado basicamente para a construção de diagramas com os dados coletados, para uma melhor análise e visualização. Além disto permitia a atualização automática dos dados e diagramas conforme os procedimentos de leitura eram realizados. A seção 4.1.2 traz mais detalhes sobre este aplicativo.

4.1.1 IoT HUB Azure

O Azure é o nome de uma variedade de serviços hospedados na nuvem da Microsoft. "Azure é um serviço de gerenciado que permite comunicações bidirecionais, confiáveis e seguras entre milhões de dispositivos IoT, além de soluções back-end". (Microsoft, 2017a) O IoT Hub é o serviço da nuvem que permite a comunicação bidirecional com dispositivos.

Em nossa aplicação, usamos o IoT HUB da Azure para armazenar os dados recebidos de um micro controlador. Utilizando esta plataforma os dados puderam ser coletados e armazenados de forma segura, possibilitando a implementação de diagramas para posterior análise.

De acordo com a Microsoft (2017a), o IoT Hub é o lugar de todos os dados cruzados e é capaz de:

a) Fornecer comunicação bidirecional, incluindo transferência de arquivos e métodos de solicitação-resposta;

b) Fornecer roteamento declarativo de mensagens declarativas para outros serviços Azure;

c) Fornecer uma loja questionável de meta-dados do dispositivo e informações de estado sincronizadas;

d) Fornecer monitoramento extensivo para conectividade do dispositivo e eventos de gerenciamento de identidade do dispositivo;

e) Incluir bibliotecas de dispositivos para os idiomas e plataformas mais populares.

Com o Microsoft Azure também é possível criar sua própria solução adaptada ao seu cenário exato. Com o Azure IoT Gateway SDK, você pode conectar dispositivos novos ou existentes, processar dados de diferentes dispositivos usando o idioma escolhido (Java, C #, Node.js ou C).

4.1.2 Microsoft Power BI

"O Power BI é um conjunto de ferramentas de análise de negócios que fornecem informações em toda a sua organização". (Microsoft, 2017b) Usando o Power Bi, é possível conectar-se ao IoT HUB Azure e obter os dados diretamente da nuvem. É possível criar relatórios e gráficos e atualizar os dados automaticamente.

O Power BI é uma poderosa ferramenta que permite atualizar os dados automaticamente, e você pode usar seu próprio celular para ver como seu sistema está funcionando. É possível programar a hora em que os dados serão atualizados, ou você pode atualizar sempre que quiser, e os gráficos e os relatórios serão automaticamente refeitos. Com o Power BI você pode analisar todos os seus dados em um único lugar.

4.2 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Inicialmente considerou-se o estudo dos dispositivos e equipamentos que seriam utilizados para a coleta dos dados de interesse. Para tanto, realizou-se pesquisas sobre os componentes de maneira a utilizá-los de maneira correta, evitando a quebra ou queima de algum deles por má utilização. Nas seções seguintes serão abordados tanto o micro controlador como também os sensores utilizados.

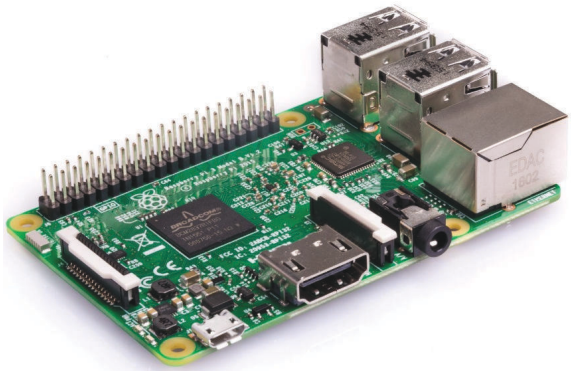
4.2.1 Raspberry Pi

O Raspberry Pi é um pequeno computador de baixo custo que pode ser conectado à TV ou a um monitor. Também é possível usar teclado e mouse e até

outros dispositivos USB. Isso significa que o Raspberry Pi permite que pessoas de todas as idades comecem a usar o computador e comecem a aprender como programar em idiomas como Scratch e Python. É possível usar o Raspberry Pi como qualquer outro computador, você pode usar a internet, assistir a vídeos e jogar jogos.

Hoje em dia, o Raspberry Pi é uma poderosa ferramenta para usar como dispositivo IoT. Ao escrever um código de programa, é possível usar o Raspberry Pi para obter dados e medidas de uma infinidade de sensores. É possível analisar esses dados dos sensores e enviá-los para o banco de dados na nuvem, onde pode-se analisar os dados onde quiser e operar o sistema também é possível. Na Figura 15 encontra-se o modelo do Raspberry Pi utilizado durante o projeto.

Figura 15 – Raspberry Pi Model 3.



Fonte: Raspberry Pi (2017).

Neste projeto, coletou-se as medidas de três sensores de luz normais através do protocolo de comunicação I^2C; dois sensores de temperatura via sinal analógico. Todos os dados provenientes dos sensores foram enviados para a nuvem, onde pode-se construir gráficos e analisar os dados com facilidade. Depois disso, é possível atualizar os dados sempre que necessário e controlar o sistema de onde quer que esteja.

"O Raspberry Pi é um excelente computador que pode ser usado para controlar entradas e saídas digitais" (ADAFRUIT, 2016a). Mas o Raspberry Pi não tem nenhuma entrada analógica, então não é possível fazer a leitura de nenhum sinal analógico sem usar algum tipo de conversor.

Neste projeto, precisou-se ler sinais analógicos do sensor de temperatura (PT-1000), portanto, foi necessário usar um conversor analógico para digital (do

inglês, *Analogic to Digital Converter* - ADC) para ler os dados desses sensores. Todas as características do circuito integrado ADC serão explicadas abaixo.

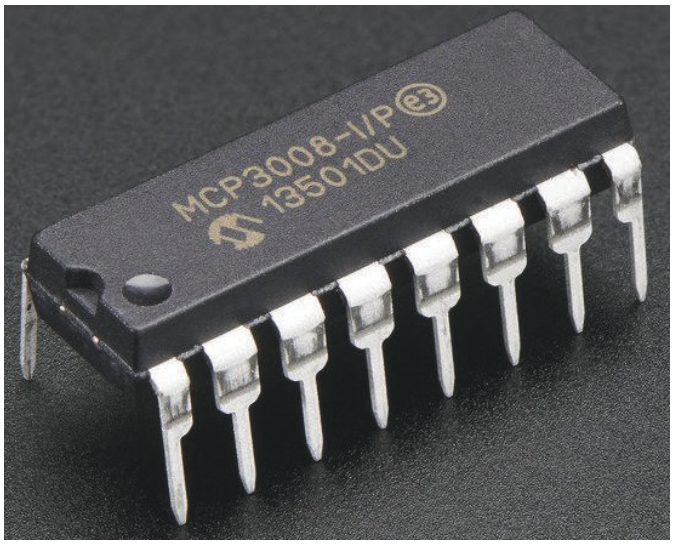
4.2.1.1 MCP – 3008 (comunicação analógica)

"Os dispositivos MCP3004 / 3008 da Microchip Technology Inc. são conversores de analógico para digital (ADC) de 10 bits sucessivos com a placa de bordo e os circuitos de retenção." (ADAFRUIT, 2008). O MCP3008 é programável para fornecer quatro pares de entradas pseudo-diferenciais ou oito entradas de uma única medição.

A comunicação entre o Raspberry Pi e o circuito integrado (CI) MCP3008 é feita através do protocolo SPI. Este é um dispositivo de baixa potência, e é oferecido em pacotes PDIP e SOIC de 16 pinos.

Como mencionado acima, o ADC será usado para obter os dados dos sensores de temperatura e do sensor de luz PAR, pois esses sensores funcionam com saídas analógicas. Para obter os dados, conectamos os sensores diretamente nas entradas do MCP3008 e obtemos os dados através do protocolo SPI. Na Figura 16 é possível analisar CI MCP3008.

Figura 16 – MCP3008.



Fonte: AdaFruit (2008).

4.2.1.2 Comunicação I²C o Raspberry Pi (máster/slaves)

O Protocolo do Circuito Inter-Integrado (I^2C) é um protocolo destinado a permitir que múltiplos sensores e dispositivos ("escravos") se comuniquem com um ou mais controladores ("mestres").

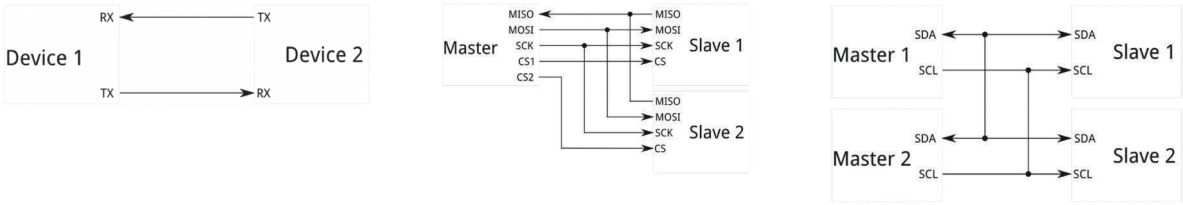
A diferença entre o protocolo de comunicação I^2C e o protocolo de comunicação serial é que, no I^2C, o sinal de tempo é enviado ao sensor, portanto, não há diferença entre as taxas de transmissão mestre e escravo, desta forma não causará dados ilegíveis.

Mas também há a comunicação SPI, que permite que os controladores se comuniquem com os sensores, e este protocolo também permite que o sinal do relógio seja enviado para o sensor. Mas, em vez de 2 fios, como nos protocolos I^2C e Serial, o maior problema com o protocolo de comunicação SPI é a necessidade de quatro pinos para se comunicar com os sensores.

É possível analisar a diferença entre esses protocolos de comunicação na Figura 17, mostrada abaixo.

Figura 17 - Diferenças entre os protocolos de comunicação.

(a) Serial, (b) SPI e (c) I^2C.



(a) (b) (c)

Com o protocolo I^2C, como mencionado acima, é possível comunicar com muitos sensores e outros dispositivos chamados "escravos". O mestre pode ser um controlador, um computador, e também é possível ter mais de um mestre. Para se comunicar com os sensores e dispositivos através do protocolo de comunicação I^2C, é necessário enviar comandos solicitando os dados. Todo dispositivo "escravo" possui seu próprio endereço, é possível obter os dados de cada escravo, em diferentes momentos, e usar os dados de maneiras diferentes.

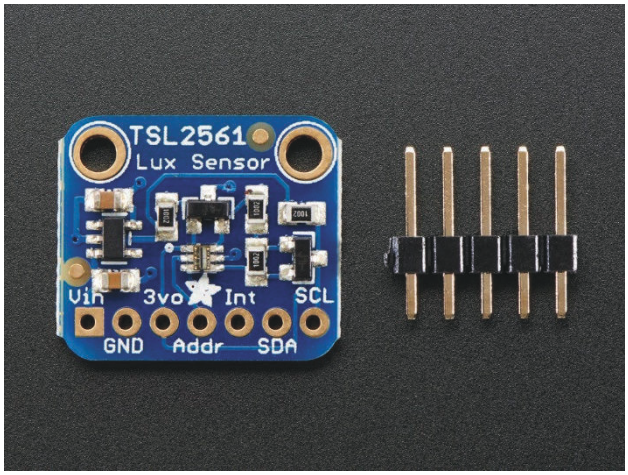
Neste projeto, utilizamos o protocolo de comunicação I^2C para obter os dados dos sensores de luz (TSL2561). Todo sensor foi considerado um escravo, e havia três endereços diferentes para obter os dados de cada sensor.

4.2.2 Sensor de Luminosidade – TSL 2561

"O sensor de luminosidade TSL2561 é um sensor de luz digital avançado, ideal para uso em uma ampla gama de situações." (ADAFRUIT, 2016). Este sensor pode ser usado e configurado para obter diferentes faixas de ganho / tempo para detectar intervalos de luz de 0,1 a 40,000 Lux. Pode ser usado para medir luz de espectro completo, pois contém diodos de infravermelho e de espectro completo. Uma vez que possua estes dois tipos de diodos, é possível medir a luz visível e infravermelha separadamente.

Na Figura 18 é possível ver a placa do sensor de luz. No painel, pode-se ver os pinos de conexão para a fonte de energia (Vcc e GND), os pinos para a comunicação digital com o controlador (SDA e SCL) e o pino de configuração do endereço (Addr).

Figura 18 - Sensor de luminosidade TSL 2561.



Fonte: AdaFruit (2016).

4.2.2.1 Coletando dados de iluminância (Lux)

"Para medir a luz, o dispositivo combina um fotodiodo de banda larga e um fotodiodo com resposta de infravermelho em um único circuito integrado CMOS

capaz de fornecer uma resposta em uma faixa dinâmica eficaz de 20 bits.” (TEXAS ADVANCED INSTRUMENTS, 2009) Cada sensor possui dois conversores ADC usados para converter as correntes dos fotodiodos para uma saída digital. Esta saída representa a iluminância medida em cada canal.

Esta saída digital pode ser lida por um microcontrolador ou computador com conexão I^2C. Neste projeto, usou-se o Raspberry Pi, pois é um poderoso microcomputador, e permite a conexão com o armazenamento em banco de dados na nuvem.

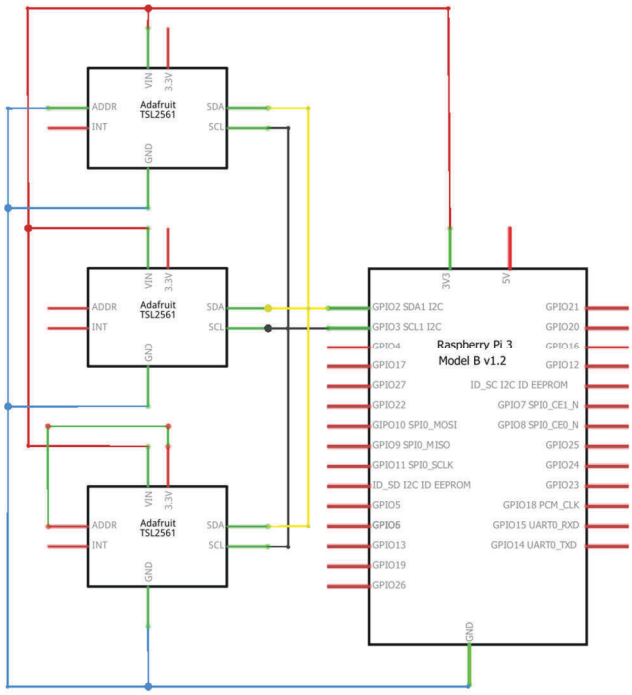
4.2.2.2 Conexões Elétricas

Como mencionado, o TSL2561 usa uma conexão I^2C para se comunicar com o controlador ou microcomputador. Para usar a conexão I^2C, enviar e receber dados do sensor ou outros controladores, conhecidos como dispositivos "escravos", é necessário usar o endereço do sensor, para saber exatamente de qual sensor vem o dado.

O endereço padrão para o TSL2561 é 0x39, portanto, se conectamos todos os três sensores na conexão I^2C do Raspberry Pi, não é possível obter dados de cada sensor. Para alterar o endereço padrão para cada sensor, é necessário conectar o pin Addr ao pin 3vo (Vcc), então podemos alcançar o novo endereço 0x49. Ao conectar o pino Addr ao pino GND, podemos obter o endereço 0x29.

É possível usar apenas três TSL2561 em cada controlador, pois é possível obter apenas esses três endereços diferentes. Depois de conectar os sensores de luz ao Raspberry Pi e conectar o pino Addr para obter o endereço desejado, é possível obter os dados de cada sensor, sendo necessário enviar o endereço para obter os dados do sensor que desejamos. Todas as conexões entre Raspberry Pi e TSL2561 Light Sensor podem ser vistas abaixo, na Figura 19.

Figura 19 - Conexões entre Raspberry Pi e TSL 2561.

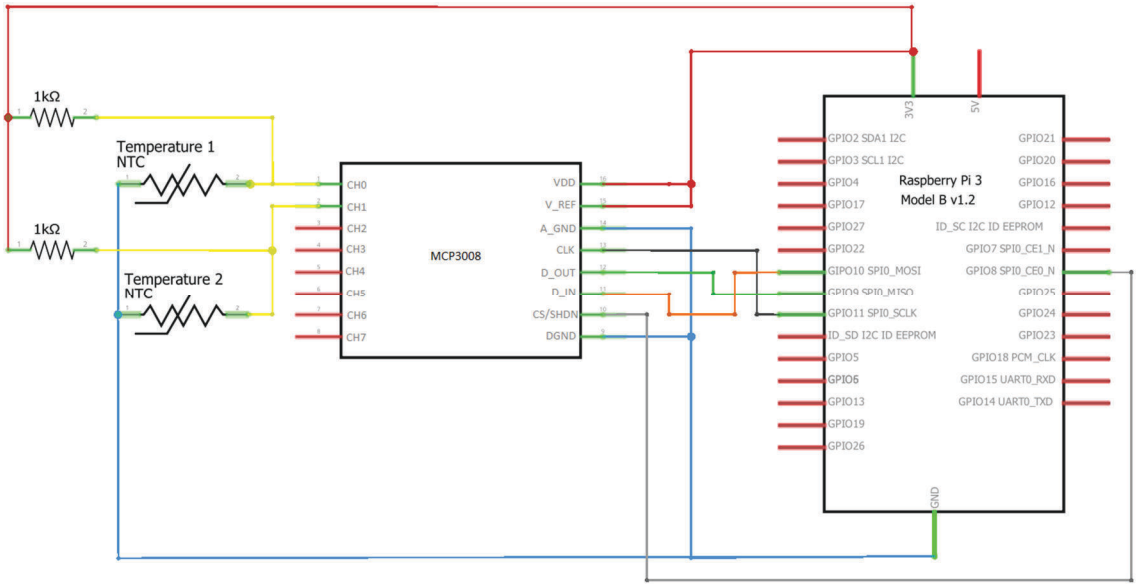


Fonte: Elaboração própria (2017).

4.2.3 Sensor de Temperatura – PT-1000

O princípio da operação do sensor de temperatura PT-1000 é medir a resistência de um elemento de platina no interior da sonda. A relação entre temperatura e resistência é aproximadamente linear em uma pequena faixa de temperatura. Para medir a resistência e transformá-la em uma medida de temperatura, foram necessários alguns cálculos e uma pequena placa de circuito para conectar os fios da medição de temperatura da sonda pH PT-1000. Vale lembrar que a medida de temperatura é um sinal analógico, portanto, é necessário usar o CI MCP3008 para conectar o sinal analógico ao Raspberry Pi via conexão SPI. Na Figura 20 é possível ver as conexões de fiação entre o sensor PT-1000, MCP3008 e Raspberry Pi.

Figura 20 - Conexões entre Raspberry Pi, MCP3008 e PT-1000.



Fonte: Produção do Autor (2017).

Usando o diagrama de fiação mostrado acima, é possível entender como o MCP3008 está conectado ao sensor de temperatura e ao Raspberry Pi. No diagrama de fiação é mostrada um divisor resistivo de tensão com um resistor de 1 kΩ. Ele é usado para calcular e transformar o sinal de tensão analógica em uma medida de temperatura utilizando a sequência de equações apresentadas abaixo:

$$V_{out} = \left(\frac{3{,}3}{1024}\right) * V_{in} \tag{7}$$

Onde: Vin = é a entrada analógica.

$$tempR = \frac{(V_{out} * 1000)}{(3{,}3 - V_{out})} \tag{8}$$

Onde: tempR = é a temperatura que varia com a resistência.

$$temp = \frac{(tempR - 1000)}{3{,}9} \tag{9}$$

Onde: temp = é a temperatura final medida.

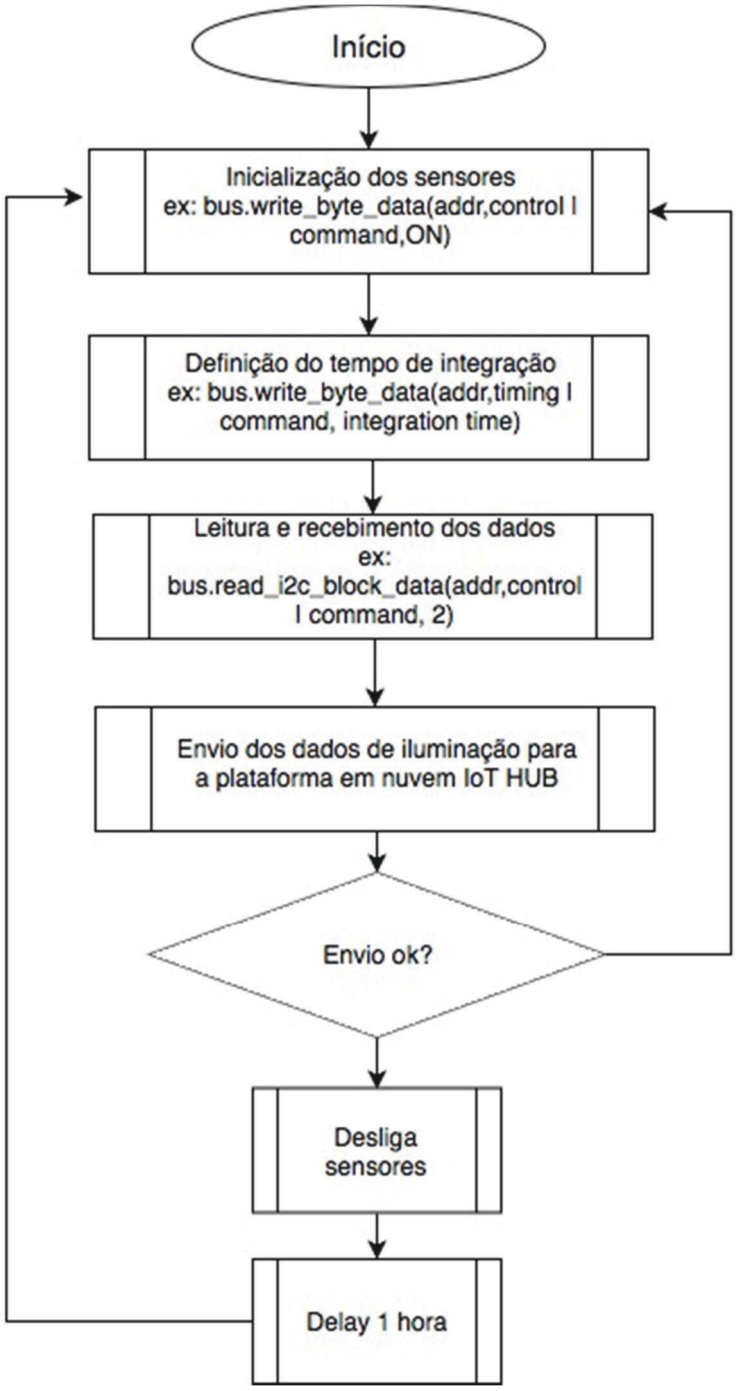
Portanto, depois de obter o sinal analógico de tensão através do conversor analógico para digital (MCP3008), é necessário calcular a resistência equivalente entre a resistência do sensor e o resistor externo usado. Depois disso, é possível calcular a temperatura real do ambiente em que a sonda está sendo usada.

4.3 FLUXOGRAMA DOS ALGORITMOS IMPLEMENTADOS

Com relação aos algoritmos computacionais implementados, estes foram escritos em linguagem de programação Python. Python é uma linguagem de programação de alto nível, orientada a objetos, imperativa, funcional, de tipagem dinâmica e forte. Foi criada por Guido van Rossum em 1991, cujos principais objetivos eram produtividade e legibilidade.

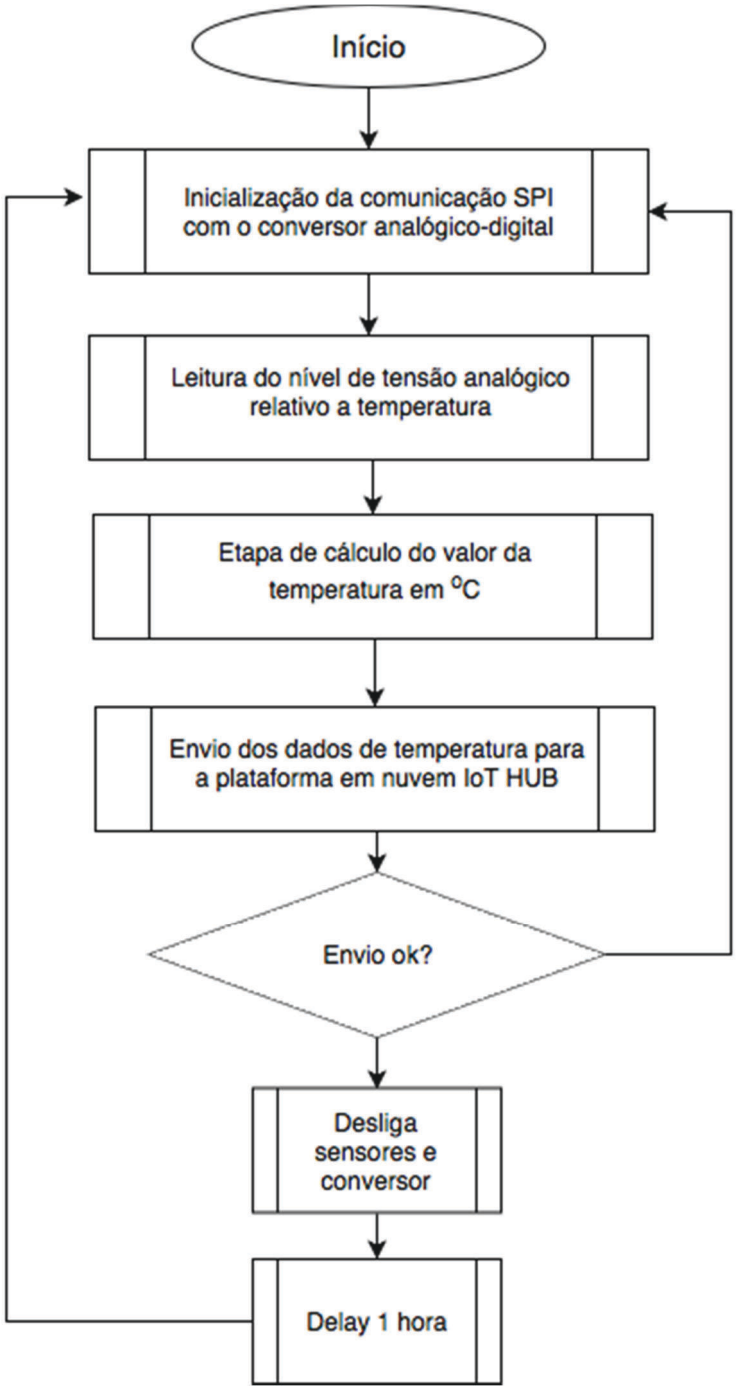
Diferentes etapas no processo de programação foram necessárias para os diferentes sensores, uma vez que os sensores de luz se comunicavam com com o controlador por meio de uma conexão I^2C, e os sensores de temperatura por comunicação SPI através do conversor analógico-digital. A seguir são apresentados os fluxogramas dos dois algoritmos implementados, mostrando as etapas necessárias para a coleta dos dados de iluminância e temperatura, nas Figuras 21 e 22, respectivamente.

Figura 21 – Fluxograma coleta de dados de iluminância.



Fonte: Elaboração própria (2017).

Figura 22 - Fluxograma da coleta de dados de temperatura.



Fonte: Elaboração própria (2017).

Vale ressaltar que todos os algoritmos desenvolvidos fizeram uso de bibliotecas já disponibilizadas pelos próprios fabricantes dos sensores e conversores. Isto veio a facilitar muito a programação, tendo em vista que a criação dessas bibliotecas não é de fácil implementação.

4.4 TESTES EM LABORATÓRIO E RESULTADOS

Para aplicar quase tudo o que foi discutido neste artigo, foi desenvolvido um sistema com dispositivos IoT e sensores de luz para monitorar e controlar o serviço de energia da iluminação em um laboratório. Foram necessários três sensores de luz TSL2561 da AdaFruit e um Raspeberry Pi como um microcontrolador.

O objetivo da implementação deste sistema é obter melhores resultados em eficiência energética com serviço de iluminação, aplicando os conceitos do Planejamento Integrado de Recursos. A quantidade de luz foi coletada na mesa de trabalho, próximo a uma janela e na mesa de solda a cada uma hora durante um dia normal. Os dados coletados são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 – Dados coletados do processo de teste dos sensores de iluminação.

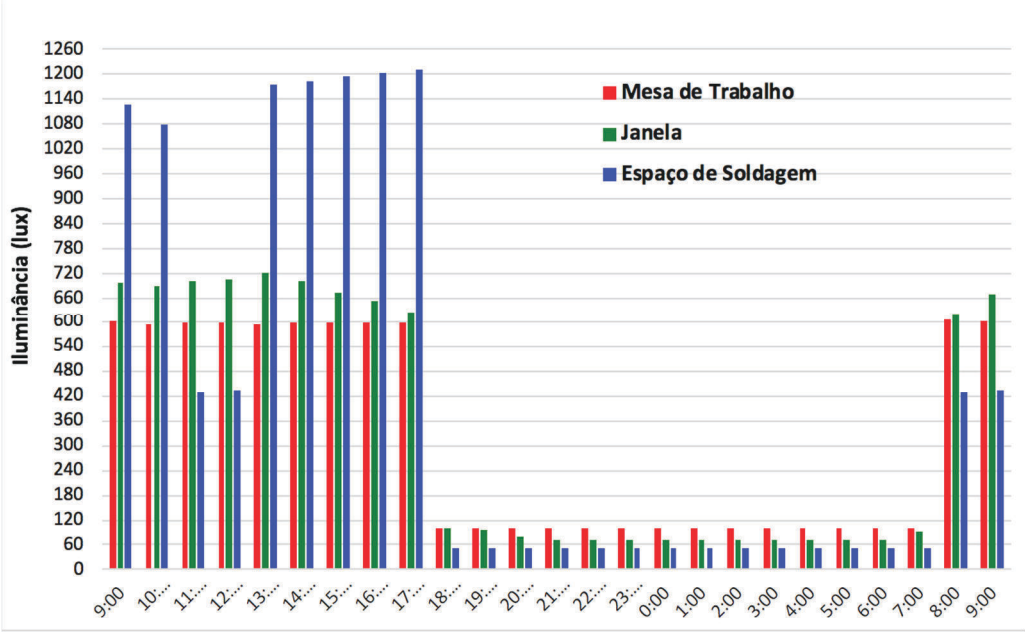
Hora	**Iluminância (Lux)**		
	Mesa de Trabalho	Janela	Mesa de Solda
9:00	600	696	1126
10:00	595	688	1078
11:00	597	700	429
12:00	596	706	432
13:00	595	721	1177
14:00	598	700	1185
15:00	598	674	1194
16:00	599	655	1202
17:00	599	625	1210
18:00	100	100	50
19:00	100	95	50
20:00	100	80	50
21:00	100	70	50
22:00	100	70	50
23:00	100	70	50
0:00	100	70	50
1:00	100	70	50
2:00	100	70	50
3:00	100	70	50
4:00	100	70	50
5:00	100	70	50
6:00	100	70	50
7:00	100	90	50
8:00	604	620	430

Fonte: Elaboração própria (2017).

É mais fácil analisar os dados coletados com um gráfico (Figura 23). É possível notar que o serviço de iluminação é quase constante durante o dia, somente à noite, quando não há ninguém no laboratório, a iluminação é baixa. Perto

da janela, a iluminação fornecida pelo sol é identificada, mas é realmente pequena, uma vez que o vidro da janela não está muito claro. Na mesa de solda é necessária uma intensidade muito alta de luz, por isso a quantidade de luz é maior neste lugar.

Figura 23 – Gráfico do Serviço Energético de Iluminação.



Fonte: Elaboração própria (2017).

Para os testes com o sensor de iluminação PT-1000, o mesmo foi testado dentro do laboratório. Por conta das características climáticas da Finlândia, a temperatura interna é sempre controlada, portanto, os valores de temperatura não variam e foram coletados por apenas alguns minutos. O objetivo principal é aumentar as formas de controle do serviço energético térmico para as construções finlandesas, baseadas na tecnologia IoT e com possibilidade de implementação da resposta da demanda e controle dos serviços energéticos para o planejamento integrado de recursos. Os dados coletados são apresentados na Tabela 2.

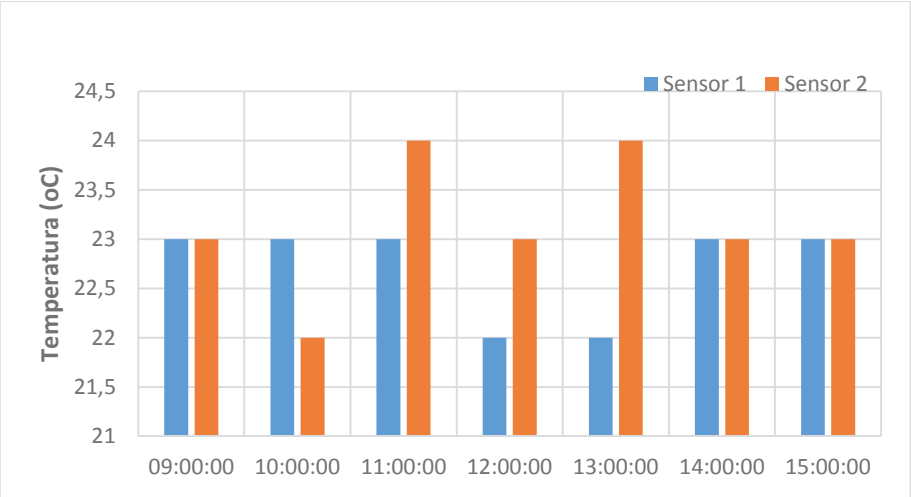
Tabela 2 – Dados coletados do processo de teste dos sensores de temperatura.

Hora	**Temperatura (ºC)**	
	Sensor 1	Sensor 2
09:00:00	23	23
10:00:00	23	22
11:00:00	23	24
12:00:00	22	23
13:00:00	22	24
14:00:00	23	23
15:00:00	23	23

Fonte: Elaboração própria (2017).

Novamente construiu-se um gráfico para melhor visualização e análise dos dados. O gráfico encontra-se na Figura 24.

Figura 24 – Gráfico do Serviço Energético Térmico.



Fonte: Elaboração própria (2017)

4.5 CONCLUSÃO

Os serviços energéticos de iluminação e temperatura são os maiores “vilões” das contas de energia de consumidores residenciais. Além disso, com a constante preocupação com eficiência energética, nada mais justo que utilizar a tecnologia em prol desta preocupação.

Com a utilização dos dispositivos IoT percebeu-se que foi possível o monitoramento dos serviços energéticos supracitados. Este controle permitiu a criação de bancos de dados para armazenamento dos dados coletados para aplicações em programas de gerenciamento de energia elétrica pelo lado da demanda. Além disso, com o advento da resposta da demanda, esses dispositivos se mostram como potenciais aliados para a operação do sistema, principalmente se algum evento de resposta da demanda for solicitado.

O próximo passo para este projeto na Finlândia é criar uma página web de *front-end*, onde os dados estarão disponíveis para análise e os diagramas estarão prontos e atualizados sempre que a página for acessada. Ele permitirá o monitoramento e controle dos serviços energéticos elencados no projeto, além de posteriormente permitir também o controle dos dispositivos de iluminação e

aquecimento. Além disso, permitirá também a implementação de soluções baseadas em resposta da demanda.

Outra possibilidade ainda é utilizá-los como auxiliar na gestão do consumo de energia para consumidores enquadrados na modalidade tarifária branca, atualmente presente no Brasil, porém já em operação na grande maioria dos países europeus.

5 CONCLUSÃO

Com o constante desenvolvimento de novas tecnologias e o constante aumento no consumo energético, se vê como cada vez mais plausível a aplicação das metodologias do PIR dentro do planejamento sustentável de cidades e demais economias em expansão.

Com a expansão dessas economias e a necessidade cada vez maior de energia, assume-se que impactos ambientais são inevitáveis, contudo, podem ser amenizados. Com a adoção da integração de opções de cenários tanto pelo lado da oferta (GLO) como pelo lado da demanda (GLD) é possível o crescimento na produção e também consumo de energia, mitigando os impactos ambientais e sociais decorrentes deste processo.

Considerando ainda o grande salto na utilização de fontes alternativas de energia, como eólica e solar, como fontes descentralizadas e intermitentes, o planejamento e estudo desempenhado no PIR promove uma melhor utilização destas combinadas as fontes centralizadas (hidráulica e térmica), além de incorporar também as estratégias de GLD através de programas de eficiência energética, controle de carga e resposta da demanda.

Com este avanço tecnológico no lado da oferta e também no lado da demanda, a utilização de dispositivos cada vez mais modernos, cabe também ao PIR vincular esses dispositivos buscando a elaboração de um planejamento e controle cada vez mais eficiente, eficaz e efetivo. Como auxiliar no complexo processo do PIR, considerando as mais variadas fontes energéticas disponíveis e as opções pelo lado da demanda mencionadas, pode-se fazer uso dos dispositivos conhecidos como dispositivos IoT.

No GLO estes dispositivos se apresentam como aliados, permitindo não apenas o monitoramento em tempo real da geração de energia, mas também um armazenamento do histórico de geração para a melhor tomada de decisão na operação através do conceito de aprendizado de máquina. Permite a comunicação automática entre as unidades geradoras descentralizadas, permitindo uma compensação automática na geração visando sempre o atendimento da demanda ao menor custo.

No GLD os dispositivos IoT demonstram um elevado potencial, facilitando o controle de potência e demanda, principalmente se associados ao contexto de GD. Nesse contexto, esses dispositivos permitem o controle e acesso a dados em tempo real, facilitando a operação do Sistema de Distribuição de energia elétrica e também permitindo uma coleta de dados para promover o PIR de maneira mais sistêmica e com dados de qualidade.

A aplicação dos dispositivos IoT varia desde a gestão dos parâmetros elétricos e energéticos, como a gestão de carga futura e controle do consumo de energia de acordo com o uso final.

Com o surgimento do conceito de Resposta da Demanda (DR), os dispositivos IoT permitem a aplicação desta ferramenta de forma mais abrangente. A troca de informações sobre o preço e consumo da energia elétrica entre distribuidoras e consumidores é feita em tempo real, acarretando em um tempo de resposta reduzido. Com isso garante-se a operação do sistema de distribuição de forma mais econômica e confiável. Além disso, permitindo esse gerenciamento da DR, consegue-se uma maior flexibilização e gerenciamento da curva de carga do sistema, permitindo a inserção e retirada estratégica de carga, visando a operação estável do sistema de distribuição, mas também de transmissão de energia elétrica.

Com o advento da estrutura tarifária branca, os dispositivos IoT se mostram potenciais auxiliares dos consumidores. Permitem controlar dispositivos remotamente ou efetuando programações horárias da operação de máquinas ou eletrodomésticos.

Por fim, conforme apresentado em estudo realizado dentro do programa PROPICIE 12, em intercâmbio internacional, os dispositivos IoT se mostram como grandes aliados dentro do PIR, sendo muito ampla a sua gama de atuação.

Conforme apresentado, o controle dos serviços energéticos de iluminação e serviços térmicos, pode representar uma grande redução no consumo energético como um todo, uma vez que são considerados os grandes vilões do consumo de energia elétrica. Com a utilização dos dispositivos IoT percebeu-se que foi possível o monitoramento dos serviços energéticos supracitados. Este controle permitiu a criação de bancos de dados para armazenamento dos dados coletados para aplicações em programas de gerenciamento de energia elétrica pelo lado da

demanda. Além disso, com o advento da resposta da demanda, esses dispositivos se mostram como potenciais aliados para a operação do sistema, principalmente se algum evento de resposta da demanda for solicitado.

Com este trabalho de conclusão de curso, conclui-se que a utilização conjunta dos dispositivos IoT com o PIR abre uma infinidade de possibilidades que buscam o melhor aproveitamento energético como um todo, criando e controlando opções pelo lado da oferta e demanda, facilitando a operação e expansão dos sistemas elétricos de transmissão e distribuição de energia, buscando sempre o menor impacto econômico, ambiental e social de maneira eficiente, eficaz e efetiva.

Como sugestão para o desenvolvimento de trabalhos posteriores, considera-se a utilização dos dispositivos IoT para monitorar a geração de energia elétrica das plantas fotovoltaicas instaladas no IFSC Câmpus Florianópolis, além da implementação de um sistema de monitoramento por uso final, principalmente de energia luminosa e térmica, nas salas de aula e demais laboratórios. Fazendo-se portanto a análise dos recursos pelo lado da oferta e da demanda.

REFERÊNCIAS

ADAFRUIT. **MCP3008.** 2008. Disponível em: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/MCP3008.pdf>. Acesso em: 3 nov. 2017.

_____. **Raspberry Pi Analog to Digital Converters.** 2016a. Disponível em: <https://learn.adafruit.com/raspberry-pi-analog-to-digital-converters/overview>. Acesso em: 3 nov. 2017.

_____. **Adafruit TSL2561 Digital Luminosity/Lux/Light Sensor Breakout.** 2016b. Disponível em: <https://www.adafruit.com/product/439>. Acesso em: 6 nov. 2017.

ADHYA, Soham et al. An IoT based smart solar photovoltaic remote monitoring and control unit. **2016 2nd International Conference on Control, Instrumentation, Energy & Communication (ciec),** [s.l.], v. 5, n. 8, p.432-436, jan. 2016. IEEE. http://dx.doi.org/10.1109/ciec.2016.7513793.

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. **Light's Labour's Lost. Policies for Energy-efficient Lighting**. France, 2006. Disponível em: < https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/light2006.pdf >. Acesso em 11 mai. 2018.

AL-ALI, A. R. et al. A smart home energy management system using IoT and big data analytics approach. **IEEE Transactions On Consumer Electronics**, [s.l.], v. 63, n. 4, p.426-434, nov. 2017. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). http://dx.doi.org/10.1109/tce.2017.015014.

AL-ALI, A. R.; ABURUKBA, Raafat. Role of Internet of Things in the Smart Grid Technology. **Journal Of Computer And Communications,** [s.l.], v. 03, n. 05, p.229-233, mar. 2015. Scientific Research Publishing, Inc,. http://dx.doi.org/10.4236/jcc.2015.35029.

ANEEL (Brasil). **Tarifa branca.** 2017. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/tarifa-branca>. Acesso em: 13 abr. 2018.

ANVARI-MOGHADDAM, Amjad et al. Optimized energy management of a single-house residential micro-grid with automated demand response. **2015 IEEE Eindhoven PowerTech**, [s.l.], v. 11, n. 11, p.1-7, jun. 2015. http://dx.doi.org/10.1109/ptc.2015.7232243.

BASUVAIYAN, Shrihariprasath; RATHINASABAPATHY, Vimalathithan. IoT Based Solar Photo Voltaic Monitoring System. **NCEE,** Coimbatore, v. 1, n. 1, p.67-71, nov. 2017.

BAUER, D. C.; ETO, J. H. Future directions: integrated resource planning. **Panel 8: Integrated Resource Planning**, [s.i], p.81-86, set 1992.

BIAGUE, M. F. **Modelagem da Carteira dos Recursos Energéticos no PIR: Validação do Modelo no PIR de Araçatuba.** 2010. 250 f. Tese (Doutorado) - Curso de Eng. Elétrica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

CALVILLO, C.f.; SÁNCHEZ-MIRALLES, A.; VILLAR, J. Energy management and planning in smart cities. **Elsevier.** Madri, p. 273-287. nov. 2015.

CAMPOS, A. **Gerenciamento pelo lado da demanda: um estudo de caso.** 2004. 94p. Dissertação (mestrado) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004,

CHEN, Chao-rong; LAN, Ming-jen. Optimal Demand Response of Smart Home with PV Generators. **International Journal Of Photoenergy,** [s.l.], v. 2014, n. 942768, p.1-9, jul. 2014. Hindawi Limited. http://dx.doi.org/10.1155/2014/942768.

COCOCCIONI, Marco; D'ANDREA, Eleonora; LAZZERINI, Beatrice. 24-hour-ahead forecasting of energy production in solar PV systems. **2011 11th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications,** Pisa, v. 11, n. 8, p.1276-1281, nov. 2011.

CODONI, R., PARK, H., RAMANI, K. **Integrated Energy Planning - A manual.** Kuala Lumpur, Malásia: Asian and Pacific Development Centre, 2010.

COSTA, R. C. Do model structures affect findings? Two energy consumption and CO2 emission scenarios for Brazil in 2010. **Energy Policy**, [s.i], v. 29, p.777-785, 2001.

DEPARTAMENT OF ENERGY (EUA). **Demand Response.** Disponível em: <https://energy.gov/oe/activities/technology-development/grid-modernization-and-smart-grid/demand-response>. Acesso em: 4 dez. 2017.

DESHUN, L.; YOUHUNG, W.; AIMING, Z. Cost-benefit analysis on IRP/DSM application- a case study in Shanghai. **Energy Policy**, Shangai, v. 25, p.837-843, 2010.

D'SA, A. Integrated Resource Planning (IRP) and power sector reform in developing countries. **Energy Policy**, [s.i], v. 33, p.1271-1285, 2005.

EPE (Brasil). **Energia Renovável:** Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica. 2016. Disponível em: <http://antigo.epe.gov.br//Documents/Energia Renovável - Online 16maio2016.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2017.

FIORENTINO, G.; CORSI, A. Internet of Things for Demand Side Management. **Journal Of Energy And Power Engineering.** [s.i]. 31 maio 2012.

FORTES, M. Z. et al. Análise da adoção de medidores inteligentes como instrumento da política pública de eficiência energética. **Engevista**, [s.i], v. 19, p.216-327, maio 2017.

GALVÃO, Luiz Cláudio Ribeiro et al. **ESTUDOS BÁSICOS SOBRE O PIR (1996 – 1999) Planejamento Integrado de Recursos Energéticos Para o Setor Elétrico.** São Paulo: Gepea Usp, 2000.

GIMENES, A. L. **Modelo De Integração de Recursos Como Instrumento Para Um Planejamento Energético Sustentável.** 2004. 250 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Energia e Automação Elétrica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

GIMENES, A. L. et al. **Estudos Iniciais de Planejamento Integrado de Recursos para a RDSM.** São Paulo: Gepea-usp, 2008. Disponível em: <http://seeds.usp.br/pir/arquivos/AGRENER2004_AndreGimenes.pdf>. Acesso em: 2 nov. 2017.

HOOG, Julian de; AMARASEKARA, Bhagya; JALALI, Fatemeh. **An IoT Solution for Optimal Energy Storage Operation.** [s.i], 2017.

HU, Qinran; LI, Fangxing. Hardware Design of Smart Home Energy Management System With Dynamic Price Response. **IEEE Transactions On Smart Grid,** [s.l.], v. 4, n. 4, p.1878-1887, dez. 2013. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). http://dx.doi.org/10.1109/tsg.2013.2258181.

JUNIOR, Dante B. **Uso da Técnica do Planejamento Integrado de Recursos – PIR, para a Avaliação da Disponibilidade de Geração de Energia Elétrica no Litoral Norte Paulista.** 2016. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2016.

MANCA, R. D. **O Planejamento Integrado de Recursos do Setor Energético como Base para o Gerenciamento dos Recursos Hídricos: Aplicabilidade para o Setor de Abastecimento Público de Água em Áreas Urbanas.** 2008. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

MANCINI, Mônica. **Internet das Coisas:** História, Conceitos, Aplicações e Desafios**.** São Paulo: Pmisp, 2017. Disponível em: <https://pmisp.org.br/slideshow/2617-internet-das-coisas>. Acesso em: 28 nov. 2017.

MASHIMA, Daisuke; CHEN, Wei-peng. Residential demand response system framework leveraging IoT devices. **2016 IEEE International Conference On Smart Grid Communications (smartgridcomm)**, [s.l.], p.327-334, nov. 2016. IEEE. http://dx.doi.org/10.1109/smartgridcomm.2016.7778813.

MICROSOFT. **Overview of the Azure IoT Hub service.** 2017a. Disponível em: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/iot-hub/iot-hub-what-is-iot-hub>. Acesso em: 24 out. 2017.

_____. **Microsoft Power BI.** 2017b. Disponível em: <https://powerbi.microsoft.com/en-us/>. Acesso em: 24 out. 2017.

PARVIZIMOSAED, M.; FARMANI, F.; ANVARI-MOGHADDAM, A.. Optimal energy management of a micro-grid with renewable energy resources and demand

response. **Journal Of Renewable And Sustainable Energy,** [s.l.], v. 5, n. 5, p.0531481-01534815, set 2013. AIP Publishing. http://dx.doi.org/10.1063/1.4826880.

PEDRO, Hugo T.C.; COIMBRA, Carlos F.M. Assessment of forecasting techniques for solar power production with no exogenous inputs. **Solar Energy,** [s.l.], v. 86, n. 7, p.2017-2028, jul. 2012. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2012.04.004.

PESSOA, João Lorenço Novaes; GHISI, Enedir; LAMBERTS, Roberto. **Estado da arte em eficiência energética:** iluminação e envoltória. Florianópolis: Editora da UFSC, 2013.

PESSOA, João Lorenço Novaes; GHISI, Enedir. **Estado da arte em eficiência energética**: sistemas de condicionamento de ar. Florianópolis: Editora da UFSC, 2015.

RASPBERRY PI. **Raspberry Pi.** 2017. Disponível em: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>. Acesso em: 14 nov. 2017.

RASTOGI, Shikha; SHARMA, Manisha; VARSHNEY, Pratibha. Internet of Things based Smart Electricity Meters. **International Journal Of Computer Applications.** Nova Delhi, p. 13-16. jan. 2016.

REDDY, A. K. N. SUMITHRA, G. **Integrated Resource Planning (IRP)**. 1996. Disponível em: <http://amulya-reddy.org.in/Publication/1996_01_IRP.pdf>. Acesso em: 14 de março de 2018.

REIS, L. B. dos.; GALVÃO, L. C. R.; CARVALHO, C. E. Planejamento da integração energética voltado ao desenvolvimento sustentável com ênfase às interligações elétricas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 3, 1998, São Paulo. **ANAIS do III Congresso Brasileiro de Planejamento Energético**. SÃO PAULO-SP: Sociedade Brasileira de Planejamento Energético, 1998. P.244-250.

ROUSE, Margaret. **Cloud Database.** 2017. Disponível em: <http://searchcloudapplications.techtargetcom/definition/cloud-database>. Acesso em: 1 nov. 2017.

_____. **Internet of Things (IoT).** 2016. Disponível em: <http://internetofthingsagenda.techtargetcom/definition/Internet-of-Things-IoT>. Acesso em: 20 nov. 2017.

SAUER, I. L. **Estudo de Planejamento Integrado de Recursos para o Sistema Elétrico de Boa Vista – RR.** São Paulo: Editora da USP, 1999.

SHAHRYARI, K.; MOGHADDAM, A. A. Demand Side Managemente Using Internet of Energy based on Fog and Cloud Computing. **IEEE Compute Society**, [s.i], v. 5, n. 8, p.931-936, 2017.

SINDHUJA, Putta; BALAMURUGAN, M. S. Smart Power Monitoring and Control System through Internet of things using Cloud Data Storage. **Indian Journal Of Science And Technology,** [s.l.], v. 8, n. 19, p.1-7, 16 ago. 2015. Indian Society for Education and Environment. http://dx.doi.org/10.17485/ijst/2015/v8i19/76698.

SOARES, C. R. **Aplicação da Metodologia de Planejamento Integrado de Recursos na Expansão da Distribuição:** Um Estudo de Caso. 2000. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

SWISHER, J. N.; JANNUZZI, G. D.; REDLONGER, R. Y. **Tools and Methods for Integrated Resource Planning.** Roskilde: Grafisk Service, 1997.

TEXAS ADVANCED OPTOELETRONIC SOLUTIONS INC. **TSL2560, TSL2561 - Light to Digital Coverter.** 2009. Disponível em: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/TSL2561.pdf>. Acesso em: 6 nov. 2017.

THE GRID. **The Future of Power Grids: Demand-Side Management and The Internet of Things.** 2017. Disponível em: <https://thegrid.rexel.com/en-us/energy_efficiency/w/solar_renewable_and_energy_efficiency/344/the-future-of-power-grids-demand-side-management-and-the-internet-of-things>. Acesso em: 26 nov. 2017.

UDAETA, M. E. **Planejamento Integrado de Recursos Energéticos - PIR - Para o Setor Elétrico (pensando no desenvolvimento sustentável).** 1997. 430 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Sistemas de Potência, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

USP (São Paulo). **PIR na USP:** Planejamento Integrado de Recursos Energéticos - Recursos do Lado do Suprimento - Energia Solar Fotovoltáica. São Paulo, 2000. Disponível em: <http://seeds.usp.br/pir/gepea/rec04.html>. Acesso em: 15 nov. 2017.

_____. **Planejamento Integrado de Recurosos**. São Paulo, 2000. Disponível em: <http://seeds.usp.br/pir/pir/pir2.html>. Acesso em: 15 nov. 2017.

WWF (Brasil). **Agenda Elétrica Sustentável 2020:** Estudo de cenários para um setor elétrico brasileiro eficiente, seguro e competitivo. Brasília: Wwf - Brasil, 2006.

ZANELLA, Andrea et al. Internet of Things for Smart Cities. **IEEE Internet Of Things Journal,** [s.l.], v. 1, n. 1, p.22-32, fev. 2014. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). http://dx.doi.org/10.1109/jiot.2014.2306328.