



Universidade Estadual de Campinas
Departamento de Engenharia Elétrica e de
Computação

IE309 - Internet Das Coisas: Fundamentos e Oficina Monitoramento Solar

| | |
|----------------------------|--------|
| Dimas Augusto Mendes Lemes | 163660 |
| Eloisa A. N. Matthiesen | 208929 |
| Ivan Paulino Pereira | 262125 |
| Rafael Augusto Pedriali | 190742 |

Campinas
Junho de 2019

Lista de Figuras

| | | |
|------|---|----|
| 1.1 | Mapa de irradiação solar no Brasil (GONCALVES et al., 2018) | 3 |
| 1.2 | Exemplo de geração solar distribuída (PEREIRA, 2019). | 3 |
| 1.3 | Exemplo de uma usina solar fotovoltaica. | 4 |
| 1.4 | No lado esquerdo a matriz energética brasileira instalada atualmente e do lado direito a previsão de expansão para o ano de 2030. | 5 |
| 3.1 | Curva de atuação do painel fotovoltaico. | 9 |
| 3.2 | Diagrama dos três ciclos | 10 |
| 3.3 | Conjunto de painéis solares. | 12 |
| 3.4 | Inversor de frequência. | 13 |
| 3.5 | Controlador de carga. | 14 |
| 3.6 | Bateria estacionária. | 14 |
| 3.7 | Diagrama de conexão entre os níveis do modelo de referência. | 17 |
| 3.8 | Placa projetada para execução do monitoramento com a ajuda do SATE. . | 21 |
| 3.9 | Módulo de comunicação BE900. | 22 |
| 3.10 | Raspberry Pi 3. | 23 |
| 3.11 | Sensor de corrente Allegro ACS712. | 23 |
| 3.12 | Circuito esquemático do sensor de corrente. | 24 |
| 3.13 | Divisor de tensão. | 25 |
| 3.14 | LM35 não encapsulado. | 25 |
| 3.15 | Esquema de conexão dos sensores ao sistema de geração de energia solar fotovoltaica. | 26 |
| 3.16 | Esquema do circuito impresso | 27 |
| 3.17 | Circuito impresso pronto. | 27 |
| 3.18 | Diagrama em blocos da estrutura da rede. | 28 |
| 3.19 | Elementos da rede e suas respectivas camadas. | 30 |
| 3.20 | Framework. | 31 |
| 3.21 | Fluxograma | 32 |
| 3.22 | Modelo Entidade e Relacionamento. | 34 |
| 3.23 | Diagrama de casos de uso. | 35 |
| 3.24 | Diagrama de atividades. | 37 |
| 3.25 | Dashboard do sistema web. | 38 |
| 3.26 | Alertas de falhas. | 39 |
| 3.27 | Tela de cadastro de painéis fotovoltaicos. | 40 |
| 4.1 | Ambiente com a apresentação dos dados monitorados. | 42 |

Lista de Tabelas

| | | |
|-----|---|----|
| 1.1 | Expansão da matriz energética brasileira. | 5 |
| 3.1 | Classificação com relação a eficiência com a proporção dos painéis produzidos | 16 |
| 3.2 | Nível de ruído e resolução vs. Capacitância de filtragem e resolução de largura de banda. | 20 |
| 3.3 | Nível de ruído e resolução vs. Capacitância de filtragem e resolução de largura de banda. | 24 |

Sumário

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Introdução | 1 |
| 1.1 | Matriz energética brasileira | 2 |
| 2 | Objetivo | 6 |
| 3 | Desenvolvimento | 7 |
| 3.1 | Sistema de geração de energia solar fotovoltaica | 7 |
| 3.2 | Metodologia dos três ciclos | 10 |
| 3.2.1 | Primeiro ciclo, Negócio | 10 |
| 3.2.2 | Segundo ciclo, Especificações <i>Top-Down</i> | 16 |
| 3.2.3 | Terceiro ciclo, Implementação (<i>Bottom-Up</i>) | 19 |
| 3.3 | Esquemas Elétricos | 20 |
| 3.3.1 | Materiais utilizados | 20 |
| 3.3.2 | Descrição dos hardwares utilizados | 20 |
| 3.3.3 | Descrição dos Sensores | 23 |
| 3.4 | Método de transmissão | 27 |
| 3.4.1 | Rede de Sensores Sem Fio | 27 |
| 3.4.2 | IoT Proxy Manager | 28 |
| 3.4.3 | Módulos de comunicação e plataforma de desenvolvimento | 29 |
| 3.4.4 | Framework | 30 |
| 3.5 | Software | 33 |
| 3.5.1 | Modelagem dos Dados | 33 |
| 3.5.2 | Funcionalidades do sistema | 34 |
| 3.5.3 | Atividades do sistema | 36 |
| 3.5.4 | Sistema Web | 37 |
| 4 | Resultados | 41 |
| 5 | Conclusão | 43 |
| | Referências bibliográficas | 44 |

Capítulo 1

Introdução

Diante das novas formas de se usarem os dispositivos eletrônicos, novas tecnologias foram sendo desenvolvidas e adaptadas para as novas funcionalidades. A busca por maiores taxas de transmissão de dados, visando formas de conexão que minimizem custos de projeto, que diminuam a necessidade de alta potência na transmissão e aumentem as áreas de cobertura sendo confiáveis vêm produzindo resultados nos meios industrial e acadêmico. Estas tecnologias estão relacionadas ao conceito de Internet das Coisas.

A Internet das Coisas, representada pela sigla IoT (*Internet of Things*), é definida de acordo com a União Internacional das Telecomunicações como uma infraestrutura global que habilita serviços avançados por meio da interconexão entre coisas, ditas físicas ou virtuais, com base nas tecnologias de informação e comunicação. Ou seja, a ideia é conectar coisas, objetos do dia-a-dia, dotando-os de capacidade de processar dados. Dessa forma, uma solução em IoT deve atender a três pré-requisitos. São eles: Reconhecimento de dados, Conexão a uma rede e a Capacidade de processar os dados sem que haja interferência humana.

A aplicação de IoT pode trazer benefícios aos cidadãos, à gestão pública, como questões envolvendo segurança, transporte e eficiência energética, pois permite trazer ao usuário um poder de decisão sobre o ambiente abordado com muito mais agilidade e facilidade. Neste projeto a aplicação IoT abordada é voltada sobre sistemas de geração de energia solar fotovoltaica.

A energia solar fotovoltaica é uma das mais limpas formas de geração de energia existentes no mundo, a luz do sol é captada por meio de painéis solares que tem por finalidade realizar a conversão da energia luminosa em energia elétrica. Nesse processo é

possível criar uma rede IoT em que os painéis solares estejam conectados a dispositivos de comunicação que traduzam, por exemplo, ao consumidor a capacidade de geração de energia elétrica do sistema, buscando minimizar custos e identificar problemas na geração da energia.

1.1 Matriz energética brasileira

Atualmente a maior fonte de energia elétrica do sistema elétrico brasileiro é sistema hidro-elétrico, e apresenta-se de forma predominante, em seguida vem as termelétricas, dando sequencia às energias renováveis como a eólica, solar e biomassa. Embora a energia solar tenha uma proporção muito pequena de geração sobre o sistema elétrico nacional, ela possui uma grande previsão de expansão, proporcionado pelo grande potencial de energia solar incidente no território brasileiro, e pela evolução da tecnologia fotovoltaica tanto em grandes centrais geradoras fotovoltaicas, quanto na geração distribuída. A Figura 1.1 apresenta o mapa de irradiação solar direta no Brasil, note que este país possui grande potencial de energia solar (GONCALVES et al., 2018).

A geração solar distribuída ocorre pela geração própria da energia dos consumidores e que também estão conectados à rede elétrica, além disso, ela é responsável por grande parte da expansão da energia solar mundial. No Brasil foi instituída em 2012, através da resolução 482 da ANEEL. Ela permite que consumidores de energia possam gerar a própria energia através de fontes renováveis e transferir a energia excedente à rede das concessionárias de distribuição. Isto é, sistema de compensação, conhecido como Net Metering, ou medição líquida. Quando a geração da energia for maior do que o consumo, o excedente será injetado na rede de distribuição, gerando créditos energéticos. Deste modo, quando não há geração, ou quando a energia gerada não for suficiente para suprir todo o consumo, a energia será fornecida normalmente pela concessionária. Ao final do mês, o valor a ser pago corresponde à diferença da geração e do consumo. Caso o saldo da geração seja positivo, os créditos energéticos podem ser utilizados nos 60 meses subsequentes. Esses créditos também são usados para compensar a fatura de energia em outros pontos dentro da área de concessão de uma mesma distribuidora (PEREIRA, 2019). A Figura 1.2 apresenta um ótimo exemplo da geração solar distribuída.

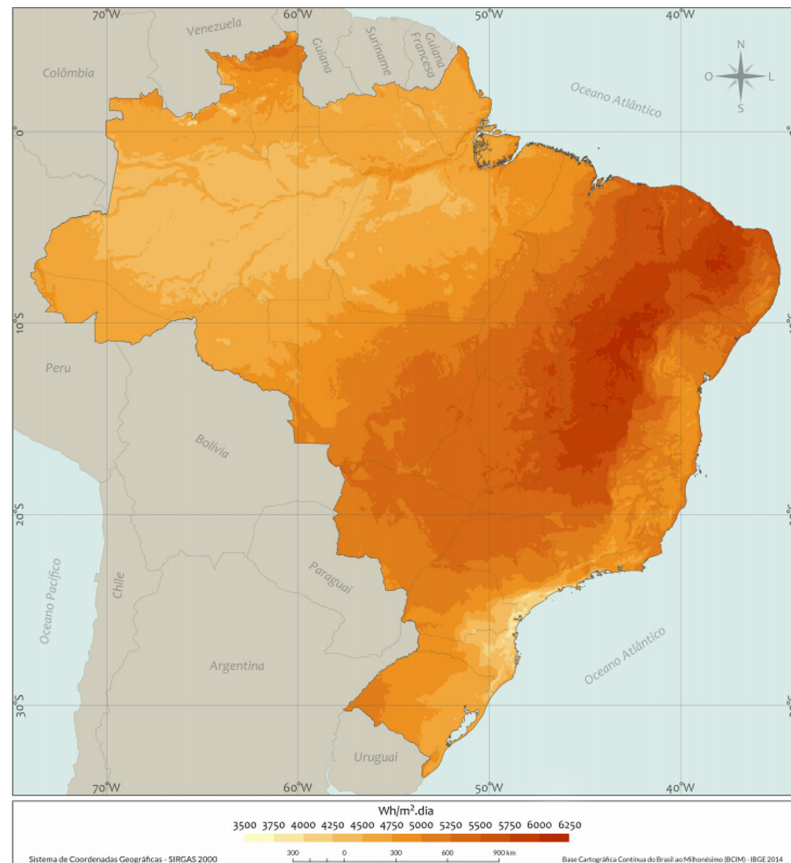


Figura 1.1: Mapa de irradiação solar no Brasil (GONCALVES et al., 2018)



Figura 1.2: Exemplo de geração solar distribuída (PEREIRA, 2019).

A geração centralizada de energia ocorre por meio das usinas solares, e contam com três características principais:

- Gerar energia para o mercado livre
- Gerar energia para o mercado cativo, por meio da participação em leilões de energia
- Autogerar energia para grandes consumidores.

A geração centralizada tem sua produção do sistema energético aplicado em um ambiente particular, sem terceiros ou intermediários permitindo serem empregadas como for desejado.

Sendo uma das finalidades da geração centralizada o leilão da energia produzida, é necessária a execução do processo para a realização dos leilões. Que vão desde a inscrição e habilitação até a finalização do acordo. As usinas solares, diferente da geração centralizada, não demandam a execução de leilão para sua distribuição. O sistema de geração de energia solar em construção da UNICAMP é um exemplo (CPFL, 2017).



Figura 1.3: Exemplo de uma usina solar fotovoltaica.

A previsão de expansão da geração elétrica no Brasil para o ano de 2030 está apresentado na Tabela 1.1. Observe como a geração solar centralizada e distribuída possuem o maior percentual de crescimento comparado às outras fontes de geração de energia. Outro gráfico muito interessante está apresentado na Figura 1.4, onde mostra a matriz energé-

| Fonte | 2014 (TWh) | 2030 (TWh) | Participação em 2030 (%) | Incremento (TWh) | Potência Adicional (GWp) | Crescimento (%) |
|-------------|---------------|---------------|-----------------------------|---------------------|--------------------------------|--------------------|
| Hidráulica | 407 | 697 | 61 % | 290 | 66 | 64 % |
| Eólica | 12 | 105 | 9 % | 93 | 26.5 | 108 % |
| Solar-Cent. | 0 | 26 | 2 % | 26 | 14.8 | 493 % |
| Solar-Dist. | 0 | 9 | 1 % | 9 | 5.1 | 6321 % |
| Biomassa | 41 | 134 | 12 % | 93 | 4.2 | 28 % |
| Outras | 164 | 180 | 15 % | 16 | - | |
| Total | 624 | 1151 | | 527 | | |

Tabela 1.1: Expansão da matriz energética brasileira.

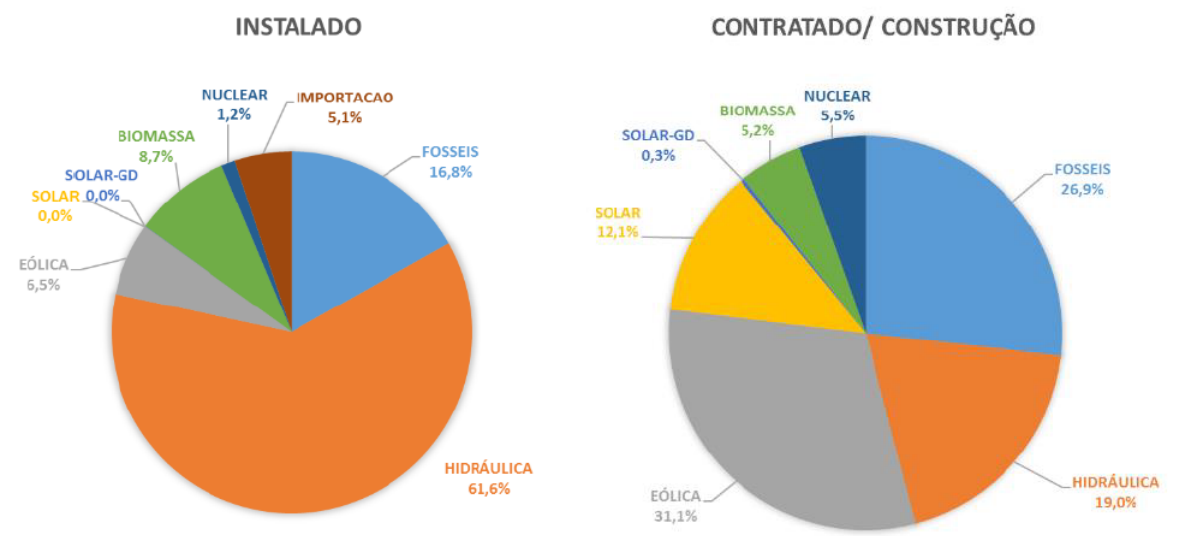


Figura 1.4: No lado esquerdo a matriz energética brasileira instalada atualmente e do lado direito a previsão de expansão para o ano de 2030.

tica atual e em construção. Note como as fontes renováveis eólica e solar apresentam um crescimento expressivo da matriz energética brasileira (GONCALVES et al., 2018).

Capítulo 2

Objetivo

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma Rede de Sensores Sem Fio (RSSF) para dispositivos capazes de monitorar dados de painéis solares. Os dados coletados são corrente, tensão e temperatura do painel, os quais são transmitidos pelo ambiente sem fio para um banco de dados, sendo possível ter o completo gerenciamento dos dados coletados em um ambiente online. O banco de dados projetado é capaz de monitorar diversos dispositivos de medição ao mesmo tempo, independente das marcas e modelos dos equipamentos utilizados nos sistemas de geração fotovoltaica.

Capítulo 3

Desenvolvimento

A dependência da energia elétrica na sociedade atual é uma necessidade em que geralmente é suprida pelos sistemas elétricos, entretanto, alguns lugares não possuem acesso ao sistema devido a sua dificuldade de acesso como em áreas rurais remotas e em pequenas comunidades afastadas onde custo de se conectar à rede seria elevado. Dessa forma, o fornecimento de energia para estas comunidades pode ser realizada com outras formas mais viáveis, como é o caso da energia solar fotovoltaica. Além deste aspecto, a energia solar tem ganhado espaço mundialmente por ter uma geração limpa, inovadora, com fácil implementação e inclusive pela redução do valor de mercado, tornando-se quase que popular e com um ótimo custo-benefício.

O desenvolvimento da tecnologia de painéis solares está evoluindo continuamente e apresentando um elevado potencial de venda para empresas com elevado gasto energético, para pessoas comuns que queiram realizar economia em suas contas de luz e para comunidades isoladas. Então este trabalho busca complementar o acesso a informação do proprietário sobre seu sistema de geração de energia fotovoltaica independente de sua localização e monitorados por uma rede de sensores sem fio. Esta rede notificará ao proprietário a identificação sobre possíveis falhas do sistema.

3.1 Sistema de geração de energia solar fotovoltaica

Atualmente existem dois sistemas distintos de geração de energia solar fotovoltaica, o *on-grid* e o *off-grid*, discutidos brevemente a seguir.

Sistema *off-grid* ou isolados, como o nome informa, é um sistema fotovoltaico separado de qualquer outro sistema de distribuição. A energia que é produzida pelos módulos fotovoltaicos é basicamente armazenada em um conjunto de baterias, a principal vantagem é a facilidade de implementação, não sendo necessário ter autorização da companhia elétrica para implementar.

Sistema *on-grid* ou sistema fotovoltaico de microgeração distribuída é um sistema conectado à rede de distribuição de energia, portanto, pode ser considerada como uma pequena parte do grande sistema de geração integrado. Do ponto de vista econômico, este sistema não precisa ser conectado a um conjunto de baterias trazendo uma grande economia ao projeto, basta apenas conectar o arranjo de painéis a um inversor de frequência e em seguida levar a energia para a rede elétrica (VILLALVA; GAZOLI, 2015).

Curva de atuação do painel

Os painéis solares têm a capacidade de fornecer uma potência máxima. Seu valor é definido em projeto. No entanto ao conectar uma placa à carga, por exemplo de 60 W, dificilmente o painel estará fornecendo a potência de 60 W. Para que o painel entregue a máxima potência fornecida pelo fabricante, é necessário que o painel esteja atuando em um ponto específico, isto é, o MPPT (*Maximum Power Point Tracker*) ou Rastreador de Máxima Potência do Painel. A curva de atuação em $I \times V$ e $P \times V$ de uma placa solar fotovoltaica é esboçado na Figura 3.1 e os pontos definidos no gráfico correspondem a:

- $I_{s/c}$: Corrente de curto-circuito, é a corrente máxima que o módulo oferece.
- $V_{o/c}$: Tensão de circuito aberto, é a tensão máxima oferecida pelo módulo.
- I_{mpp} : Corrente de máxima potência, é o ponto de operação de máxima corrente de operação do módulo.
- V_{mpp} : Tensão de máxima potência, é a tensão máxima potência apresentada durante a operação do módulo.

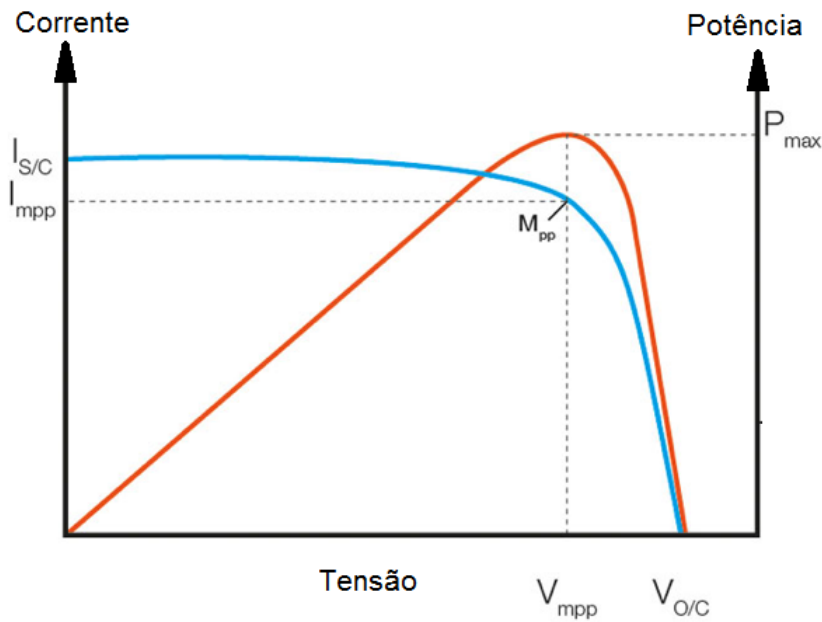


Figura 3.1: Curva de atuação do painel fotovoltaico.

Neste gráfico a curva em azul corresponde aos possíveis valores de atuação do painel fotovoltaico, e a curva em vermelho é seu correspondente em potência. Para que o painel atue sobre o MPPT é necessário adicionar ao sistema otimizadores de potência, que são projetados especificamente para forçarem a os painéis a atuarem sobre este ponto. Os otimizadores estão presentes em alguns equipamentos específicos para sistemas de geração de energia solar, como o inversor de frequência e o controlador de carga (VILLALVA; GAZOLI, 2015).

Cálculo de árvores cultivadas

O número de árvores cultivadas pode parecer algo um pouco abstrato e intangível, mas é uma métrica que ajuda a compreender os benefícios ecológicos de um projeto de geração de energia solar fotovoltaica, a qual está relacionada às energias sustentáveis. Diversas fontes de energia estão ligadas a queima de combustíveis fósseis, como carvão, petróleo, gás natural. Dessa forma, o aumento da quantidade de sistemas de geração de energia solar reduz indiretamente a necessidade das energias produzidas a partir da queima combustíveis fósseis.

O calculo equivalente ao número de árvores cultivadas é obtido diretamente a partir da energia elétrica gerada sobre um período de tempo multiplicado pelo coeficiente de

árvores cultivadas ($5,04 \times 10^{-4}$ árvores/KWh) considerando o fator de emissão médio de CO_2 em $0.1258 \text{KgCO}_2/\text{KWh}$ (MÜLLER, 2019).

3.2 Metodologia dos três ciclos

Esta seção descreve detalhadamente a metodologia dos três ciclos (Negócio, Especificação, Implementação) em uma sequência lógica da estrutura do projeto para a implementação do IoT sobre o cenário proposto.

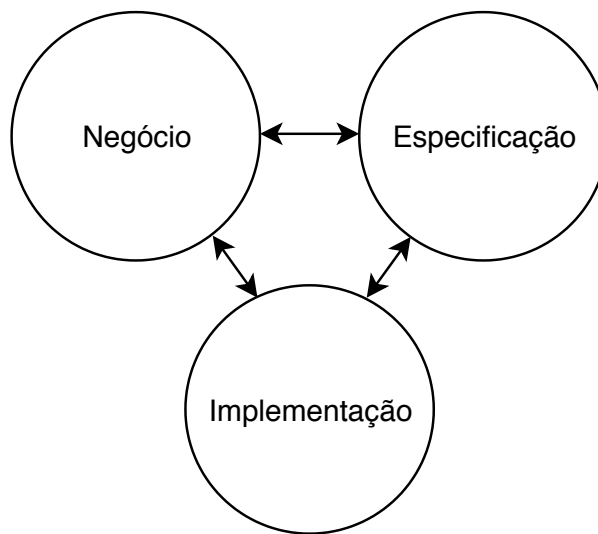


Figura 3.2: Diagrama dos três ciclos

3.2.1 Primeiro ciclo, Negócio

O Negócio

A energia elétrica é indispensável para o desenvolvimento da humanidade, para geração de bens e serviços e para conforto e segurança da sociedade. De acordo com a ANEEL, o consumo de energia é um dos principais indicadores do desenvolvimento econômico e do nível de qualidade de vida de qualquer sociedade (ANEEL, 2019).

De acordo com levantamentos realizados pelo Ministério da Educação os gastos com energia elétrica nas instituições de ensino superior públicas somam cerca de 500 milhões de reais. Na Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, o consumo de energia elétrica é cerca de 25 milhões de reais por ano e corresponde a 25% do custeio da universidade (CPFL, 2018).

Tendo em vista que o gasto com energia elétrica é elevado nas instituições de ensino superior e que ele compromete cerca 25% do orçamento de custeio da UNICAMP, a UNICAMP em parceria com a CPFL elaborou o projeto campus sustentável, que faz parte de um esforço proposto pela ANEEL para reduzir o consumo de energia elétrica nas universidades públicas.

A Mini geração fotovoltaica, será instalado 534 kWp de geração fotovoltaica, distribuída em 13 locais dentro do campus da UNICAMP, nos seguintes locais: estacionamento GMU, BCCL, CB, Cepetro, IG, ADM, IC, FEC, IFGW, IQ, FEM, FEA e FEEC. Para realização deste projeto será investido o valor de 3.173.055,20 (três milhões, cento e setenta e três mil, cinquenta e cinco reais e vinte centavos). Espera-se que esse projeto contribua com a redução de 1.3% de energia consumida atualmente, ou seja R\$ 325.000,00 (trezentos e vinte e cinco mil reais) por ano (CPFL, 2017). Considerando apenas o valor investido e o valor da energia gerada, o investimento será quitado em 9.7 anos.

Os fabricantes de painéis fotovoltaicos geralmente fornecem garantia de 25 anos para o produto. No entanto, dada a ação do tempo eles geralmente perdem a capacidade de geração de energia. Tal capacidade também é influenciada pela temperatura do painel, bem como pelos períodos de exposição a luz ao longo dos anos. Além da perda de capacidade natural dos painéis é possível que ocorra problemas nos terminais de contato por causas das chuvas e outras intempéries que reduzem a produção de energia elétrica. Considerando que os gastos de energia elétrica comprometem cerca de 25% do orçamento de custeio da UNICAMP, que a geração de energia fotovoltaica apresenta-se como uma alternativa para a redução dos gastos com energia e que o investimento na mini usina representa um valor considerável em relação a energia produzida, este trabalho pretende produzir um solução em IoT para monitorar a geração de energia e auxiliar na redução dos gastos com energia.

A solução irá possibilitar monitorar a energia gerada por cada painel solar, ou conjunto de painéis, e determinar se existe alguma queda anormal na produção de energia, representando uma falha com o painel. A identificação da falha precocemente irá auxiliar na manutenção da produção de energia, bem como irá reduzir os custos de manutenção, tendo em vista que a solução irá identificar o local exato do problema.

A solução também possibilitará ao longo dos anos estimar, com base na produção de energia passada, a viabilidade da implantação de novos parques de geração fotovoltaica.

A coisa

Neste projeto a definição das coisas será um sistema de geração de energia solar fotovoltaica, o qual é composto por painéis solares, inversor de frequência, controlador de carga e bateria. Com estes equipamentos é possível realizar um monitoramento bem adequado da tensão e da corrente gerada pelo sistema. Com os dados sendo monitorados, é possível ter acesso a informação de cada um dos elementos da rede. Com estas informações será possível identificar com mais facilidade e agilidade possíveis falhas localizadas em suas posições específicas da rede IoT. Os equipamentos referenciados são detalhados a seguir.

- PAINEL SOLAR: Os painéis solares são construído por várias células de silício ou fotovoltaica, as quais geram eletricidade a partir da irradiação solar, na forma de corrente contínua (DC).

As células fotovoltaicas estão ligadas entre si dentro de cada painel solar e conectadas a painéis adjacentes usando cabos, semelhante ao da Figura 3.3.



Figura 3.3: Conjunto de painéis solares.

Obs: O calor não produz energia, é a irradiação solar. Pelo contrário, o calor danifica os painéis, fazendo-os perder eficiência com o passar do tempo.

A energia gerada depende das condições climáticas, por exemplo, em um dia nublado/chuvoso, a quantidade de energia produzida será menor do que dias ensolarados. A quantidade de energia luminosa é conhecida como irradiação solar e

geralmente é calculada ao longo do dia usando o termo Horas do Sol no Pico (PSH). O para a localização e tendo em conta a orientação e ângulo de inclinação dos painéis solares (LUCAS, 2019).

- Inversor de frequência: Os painéis solares geram energia de tensão contínua que precisa ser convertida em tensão alternada para uso em geral, esta conversão é realizada pelo inversor de frequência. O sistema pode ser projetado utilizando um microinversor, cujas especificações de atuação não permitem ligar um grande número de painéis solares, já os inversores de *string* permitem ligar vários painéis solares.

Outra característica importante dos inversores é que eles também atuam como otimizadores de potência, em que monitoram e controlam a atuação dos painéis para garantir que cada painel esteja operando com a máxima eficiência sob todas as condições (LUCAS, 2019).



Figura 3.4: Inversor de frequência.

- Controlador de carga: Os controladores de carga ficam entre os painéis e as baterias e são utilizados para controlar a voltagem de entrada nelas a fim de evitar sobrecargas ou descargas excessivas, otimizar a potência gerada pelos painéis e prolongar a sua vida útil. Os painéis solares produzem energia proporcional a irradiação de luz solar, porém as baterias não suportam tal variação. Para solucionar este problema e também para aprimorar o carregamento das baterias, são utilizados os controladores de carga (VILLALVA; GAZOLI, 2015).



Figura 3.5: Controlador de carga.

- bateria: As baterias são responsáveis por todo o armazenamento das cargas elétricas no sistema *off-grid*, em que posteriormente serão consumidas nos períodos noturnos ou em dias não ensolarados. As baterias mais recomendadas são as do tipo estacionárias, tipicamente são aplicadas a funções que demandam por longos períodos de corrente elétrica moderada. Além disso, são projetadas para suportar períodos maiores de descarga e duram muito mais tempo. Consequentemente, são as mais adequadas para o uso em sistemas solares fotovoltaicos (SOLARBRASIL, 2019).



Figura 3.6: Bateria estacionária.

Especialista

Para execução do projeto é essencial o conhecimento profundo da coisa, neste caso, os sistemas de geração de energia solar fotovoltaicos. Dessa forma, o projeto vai contar com a colaboração de um especialista, o professor Dr. Marcelo Gradella Villalva, da FEEC, o qual nos forneceu o empréstimo de uma placa fotovoltaica e nós apresentou ao pessoal do Laboratório de Eletrônica de Potência (LEPO) com participação especial dos alunos de pós-graduação João Lucas e Hugo. Ambos possuem grande conhecimento nos sistemas de geração solar fotovoltaica e inclusive na medição da tensão e corrente.

Regras de Negócio

A solução de monitoramento da mini usina de energia fotovoltaica deve emitir alertas sobre possíveis falhas no sistema de geração de energia elétrica de um painel fotovoltaico. A emissão de alertas pode orientar uma equipe de técnicos sobre a necessidade de realizar a manutenção do equipamento.

A falha nos painéis fotovoltaicos será identificada por meio da queda na geração de energia, dessa forma será medido a produção de energia de cada painel. A geração de energia dos painéis pode variar devido à perda de eficiência do painel, isso pode ocorrer por diversos fatores, como por exemplo, pela temperatura dos painéis, ação do tempo e do sol, falhas nos conectores, etc. Pelos dados coletados o sistema deve distinguir se a queda na produção foi ocasionada por condições ambientais ou por falha no sistema.

A eficiência de um painel solar está relacionada a porcentagem de luz solar que o painel consegue converter em energia, ou seja um painel cuja eficiência é de 17% converte 17% da energia da luz do sol que incide sobre ele por m^2 , em energia elétrica.

Para calcular a eficiência, em porcentagem, de um painel solar faz-se a divisão potência (w) pela área do painel e divide o resultado novamente por 10. A Tabela 3.1 apresenta uma classificação de eficiência dos painéis solares com referência conversão de energia da luz do sol em energia elétrica (PORTALSOLAR, 2019).

A classificação da eficiência dos painéis solares é realizada em laboratório, seguindo condições normais de ensino. As condições normais de ensino definem que o painel deve estar a uma temperatura de 25° C, incidindo sobre ele uma irradiação solar de 1000 Watts m^2 e uma massa de ar de 1,5. Ocorre que em temperatura elevadas, como é o caso do Brasil, os painéis solares perdem eficiência, essa perda de eficiência é conhecida

| Eficiência | Porcentagem do total de painéis produzidos | Classificação |
|---------------|--|-------------------------------|
| $\geq 18\%$ | $\sim 10\%$ | Alta eficiência |
| $17 - 17.9\%$ | $\sim 30\%$ | Acima da média de eficiência |
| $16 - 16.9\%$ | $\sim 30\%$ | Eficiência padrão |
| $15 - 15.9\%$ | $\sim 20\%$ | Abaixo da média de eficiência |
| $< 15\%$ | $\sim 10\%$ | Baixa eficiência |

Tabela 3.1: Classificação com relação a eficiência com a proporção dos painéis produzidos

como coeficiente de temperatura e é descrita na ficha técnica do equipamento. Alguns equipamentos podem apresentar até $0,5\%/^{\circ}\text{C}$, que indica que o painel perde $0,5\%$ de eficiência a cada grau Celsius acima dos 25°C . É importante observar que a temperatura considerada é a do painel e não a temperatura do ambiente, assim alguns painéis podem atingir temperaturas acima de 50°C o que resultaria numa perda de eficiência de $12,5\%$.

Além da temperatura os painéis solares também perdem em média 3% de eficiência no primeiro ano de uso e a cada ano subsequente cerca de $0,7\%$ devido ao desgaste do equipamento e exposição ao sol.

Esses parâmetros de perda de eficiência por temperatura e por tempo de uso devem ser considerados para emissão de alertas falhas na geração de energia elétrica. Além desses parâmetros dados históricos do sistema podem ser comparados para comprovar/refutar a perda de eficiência dos painéis e realizar previsões de geração de energia.

Com base nas informações coletadas também será possível auxiliar na verificação de viabilidade de expansão do sistema de geração.

Para fins de conscientização ambiental a solução irá apresentar em tempo real a redução de CO_2 lançado na atmosfera e o equivalente ao número de árvores plantadas.

3.2.2 Segundo ciclo, Especificações *Top-Down*

O diagrama a seguir resume a conexão entre os sete níveis do modelo de referência podendo ser útil tanto para o ciclo das Especificações como para a Implementação. No caso das especificações, são estabelecidos seis níveis que ligam o negócio (Nível 7) e a coisa (Nível 0), segundo o modelo de referência por um *approach top-down*.

Neste ciclo, os níveis são discutidos a seguir:

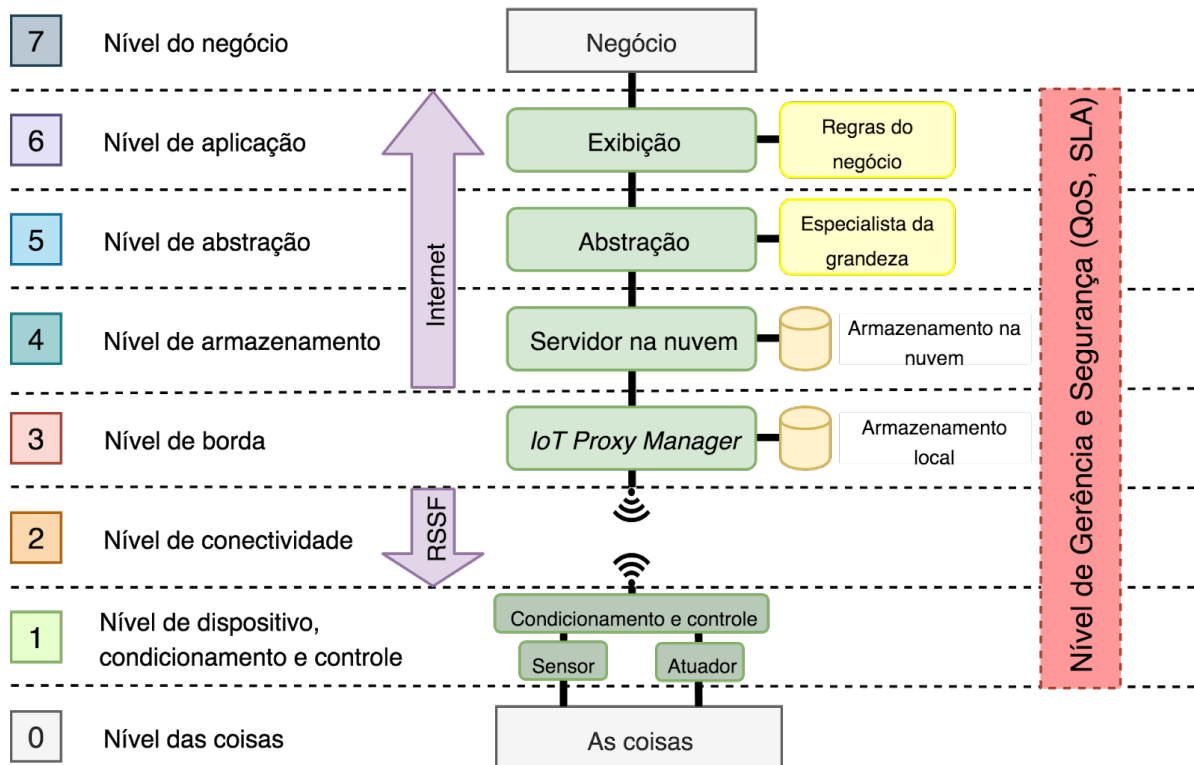


Figura 3.7: Diagrama de conexão entre os níveis do modelo de referência.

Nível 7 – Negócio

O negócio contemplado nesse projeto foi a geração fotovoltaica construída na Unicamp, um subprojeto do Campus Sustentável, visando economia de energia. Ao todo será instalado 573 kWp de geração no campus, focaremos na microgeração instalada na FEEC - Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, com 97 kWp.

Nível 6 - Exibição

As informações a serem exibidas ao usuário serão os limites de tensão, corrente e temperatura, mostrados através de gráficos. A quantidade de energia produzida que poderá ser vista por todos os usuários. Para o gerente da rede serão exibidos os valores de Intensidade do Sinal Recebido (RSSI). No que diz respeito a alarmes, haverá avisos por e-mail e WhatsApp quando os níveis de tensão e corrente chegarem a valores não condizentes com a operação.

Nível 5 – Abstração

A abstração foi feita com a ajuda de um especialista, o prof. Dr. Marcelo Gradella Villalva, da FEEC. A atuação do especialista se deu como responsável por apresentar os parâmetros da operação, quais são os limites da rede de energia e qual o seu comportamento esperado. Em relação ao tratamento dos dados, serão calculados os valores médio, máximo e mínimo, além de uma extração estatística. As técnicas para o tratamento dos dados serão a eliminação de *outliers* e identificação de tendências.

Nível 4 – Storage

O armazenamento dos dados será feito localmente e na nuvem. Os dados armazenados foram tensão, corrente, temperatura, RSSI e potência.

Nível 3 – Borda

O elemento de borda é responsável pela conexão da RSSF à Internet estando presente no laboratório LE37 e será alimentado por uma fonte de 5V conectada à rede de energia. A comunicação para a RSSF será feita por um cabo USB. Ethernet ou Wi-Fi para o envio dos dados para a nuvem.

Nível 2 – Conectividade

O nó sensor ficará junto as placas e a Estação Rádio Base (ERB) estará no laboratório LE37. A antena da ERB consegue realizar a cobertura do nó sensor, havendo apenas um enlace entre a ERB e o nó sensor. Há uma segurança física nas placas fotovoltaicas, então o nó sensor não estará em um local de fácil acesso. Existem poucos obstáculos entre o nó sensor e a ERB. A antena da ERB está em uma posição privilegiada, no topo do prédio de laboratórios da FEEC. A transmissão será feita por radiofrequência utilizando a frequência 915MHz.

Nível 1 – Nó Local Sensor/Atuador

O nó sensor ficará junto às placas na área de micro-geração da FEEC. Haverá apenas um nó sensor que será alimentado por meio de bateria.

Nível 0 – Coisas

A coisa utilizada no projeto é o painel fotovoltaico, utilizado na micro-geração da FEEC.

3.2.3 Terceiro ciclo, Implementação (*Bottom-Up*)

Neste ciclo é feita a utilização dos níveis mencionados anteriormente. No entanto, agora com abordagem *bottom up*. Ou seja, partindo dos níveis de números menores (mais perto da coisa) até os de números maiores (mais perto do negócio).

Nível 1 – Nó Local Sensor/Atuador

Será utilizado uma placa de desenvolvimento DK107, um divisor de tensão para a medição da tensão do painel, um sensor medidor de corrente Allegro ACS712 e um sensor de temperatura. O sensor utilizado para medir a corrente da placa é o ACS712, com um range de -30A até 30A. Para medir a tensão da placa será utilizado divisor resistivo para diminuir a tensão, Foi utilizado como referência a dissertação de mestrado “Sistema de baixo custo para monitoramento da geração de energia solar com conexão para internet das coisas” do Ricardo Mazza Zago.

Nível 2 – Conectividade

A conectividade será feita através de uma rede de sensores sem fio (RSSF) com módulos de comunicação BE900 e uma placa de desenvolvimento DK107 no nó sensor. Os módulos de comunicação possuem o transceptor CC1101 e o microcontrolador ATmega328.

Nível 3 – Borda

O elemento de borda será uma Raspberry Pi 3, e ERB enviando os dados da comunicação para o computador.

Nível 4 – Storage

Para o armazenamento de dados será utilizando um banco de dados relacional MySQL.

Nível 5 – Abstração

Na primeira etapa do projeto a abstração será realizada com a definição de limites para as grandezas mensuradas. Os limites são determinados pelo especialista do negócio e pelos fabricantes dos painéis fotovoltaicos. Se a potência medida estiver abaixo da especificada, o alerta, então é emitido.

Nível 6 - Exibição

Para exibição dos dados foi desenvolvido um sistema web que possibilita consultar a tensão, a corrente e a potência dos painéis solares. O sistema também realiza alertas caso os valores das grandezas medidas não estejam dentro dos limites estabelecidos pelo especialista do negócio.

3.3 Esquemas Elétricos

3.3.1 Materiais utilizados

Os materiais que são utilizados neste projeto são listados na Tabela 3.2.

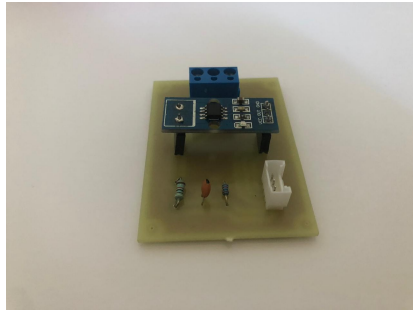
| Item | Uni | Quant | Descrição | Unitário | Total |
|------|-----|-------|-------------------------------------|------------|------------|
| 1 | UN | 2 | Módulos de comunicação BE900 | R\$ 180,00 | R\$ 360,00 |
| 2 | UN | 1 | UARTsBee | R\$ 127,00 | R\$ 127,00 |
| 3 | UN | 2 | Antenas omnidireccional de 2,15 dBi | R\$ 29,00 | R\$ 58,00 |
| 4 | UN | 1 | Placa de desenvolvimento DK 107 | R\$ 165,00 | R\$ 165,00 |
| 5 | UN | 1 | Raspberry Pi | R\$ 290,00 | R\$ 290,00 |
| 6 | UN | 1 | Sensor Allegro ACS712 | R\$ 26,90 | R\$ 26,90 |
| 7 | UN | 1 | LM35 | R\$ 10,90 | R\$ 10,90 |

Tabela 3.2: Nível de ruído e resolução vs. Capacitância de filtragem e resolução de largura de banda.

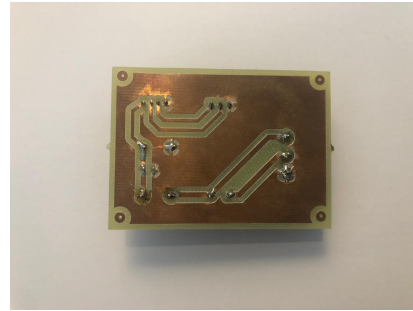
3.3.2 Descrição dos hardwares utilizados

O projeto do *hardware* implementado para o sistema de monitoramento solar teve como base a necessidade de medição de variáveis específicas como, tensão, corrente e temperatura. Dessa forma, foi projetada uma placa, com o auxílio do SATE na FEEC/Unicamp,

para a implementação do circuito contendo o nó local sensor/atuador. Na placa estão contidos dois resistores de precisão com 91 e 10 k Ω s, respectivamente, um capacitor de 100 pF e um sensor de corrente Allegro ACS712. A descrição do sensor mencionado está presente na subseção 3.3.3.



(a) Vista Superior



(b) Vista Inferior

Figura 3.8: Placa projetada para execução do monitoramento com a ajuda do SATE.

Os resistores presentes na placa estão associados de forma a criar um divisor de tensão que tem por finalidade a medição da tensão gerada pelo painel solar. O objetivo do mesmo consiste na redução do valor de tensão gerada pelo painel para o valor máximo de 5V, dito máximo para utilização do Raspberry. A presença do capacitor se justifica como técnica de redução de ruído, possibilitando medições mais precisas das variáveis.

A conectividade do sistema se deu com a utilização de uma RSSF. Nela, estão contidos o módulo de comunicação BE900, que possui o microcontrolador ATmega328 e o transceptor CC1101, e uma placa de desenvolvimento DK107, presente no nó sensor.

O BE900 foi escolhido por questões envolvendo o seu sistema de comunicação a rádio e pela sua grande utilização em RSSF. Pode ser alimentado por tensões de 3,3V até 5V e foi implementado em Arduino. A sua faixa de operação é de frequência de 915 MHz para a transmissão dos dados com uma potência de 10 dBm.

O Atmega328 é um microcontrolador de 8 bits com arquitetura Harvard modificada. É produzido pela empresa Atmel, considerado na família megaAVR. Em relação a memória, são 32 kB de memória flash, 1 kB de EEPROM e 2 kB de RAM. Dos 28 pinos, 23 são de Input/Output, 32 registradores e 3 timers, sendo o timer0 e o timer2 de 8 bits e o timer1 de 16 bits. Possui serial programável USART, uma interface I2C, conversor A/D de 6 canais e 10 bits, watchdog timer interno programável com presença de oscilador e cinco modos de energia por software. Opera entre 1,8V e 5,5V, alcançando taxa de transferência de 1 MIPS (*Millions of Instructions per Seconds*) por MHz. Devido sua simplicidade,



Figura 3.9: Módulo de comunicação BE900.

baixa potência e ao baixo custo, é normalmente utilizado em projetos autônomos e mais comumente implementado em Arduino (CAETANO, 2018).

O CC1101 é um transceptor de rádio sub-1GHz projetado para aplicações em redes sem fio de baixa potência. É produzido para aplicações nas áreas científica, médica e industrial. É integrado com modem de banda base altamente configurável, que suporta vários formatos de configuração e possui taxa de dados configurável acima de 600 kbps. Fornece suporte para hardware para manuseamento de pacotes, *data buffering*, transmissões em rajada, indicação de qualidade do link e *wake-on-radio*. Seus principais parâmetros são configurados via interface SPI e é tipicamente utilizado junto a um microcontrolador (INSTRUMENTS, 2018).

Como elemento de borda do projeto foi utilizado um computador de placa única Raspberry Pi 3. Sua escolha para utilização no projeto se deu por questões de custo benefício. Ele possui um processador com quatro núcleos (Quad Core com 1,2GHz), memória RAM de 1 GB, quatro portas USB, além de entrada de cartão Micro SD para o sistema operacional, Raspbian, e a realização da coleta de dados. Por meio de um *script* em Python, o sistema operacional constrói o pacote da RSSF e realiza o tratamento dos dados coletados.



Figura 3.10: Raspberry Pi 3.

3.3.3 Descrição dos Sensores

Após realizar uma pesquisa de mercado foi observado que a melhor opção de custo benefício para realizar as medidas da corrente é com o sensor Allegro ACS712, o qual pode ser visto na figura a seguir.

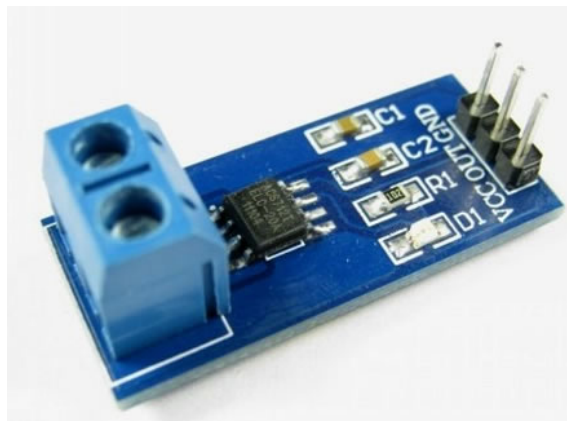


Figura 3.11: Sensor de corrente Allegro ACS712.

Este sensor é classificado como invasivo, ou seja, é necessário abrir o circuito para fazer a medição. Além disso, ao adicioná-lo ao circuito provoca uma baixa queda de tensão durante a medição, devido a sua resistência interna ser de apenas $1,2 \text{ m}\Omega$. Possui fundo de escala de -30 A até 30 A tanto para corrente contínua como para alternada, com uma sensibilidade de aproximadamente $0,066 \text{ mV/A}$. A medição ocorre por meio do efeito hall para detectar o campo magnético gerado pela corrente.

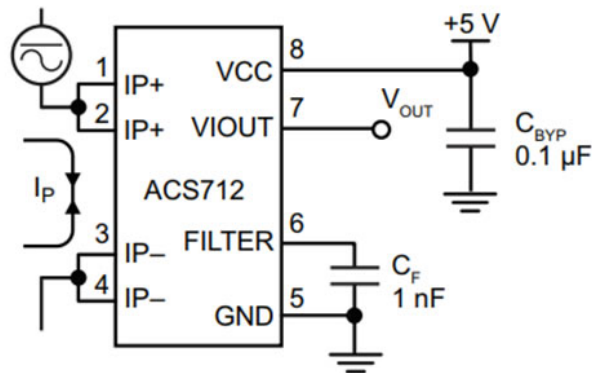


Figura 3.12: Circuito esquemático do sensor de corrente.

Onde, V_{cc} , é o pino de alimentação do circuito, em que será utilizado uma bateria para poder alimentá-lo. V_{iout} é o pino que informa os dados da corrente e tensão medidos GND é o pino terra, os pinos IP+ e IP- conectam-se em série ao circuito que deverá ser medido.

No site da Allegro, empresa responsável pela fabricação do sensor, há uma página de FAQ. Perguntaram qual a menor corrente que pode ser medida pelo ACS712, foi respondido que a sua resolução é determinada pelo nível de ruído, mostrando assim uma tabela das características de filtros que podem ser aplicadas. Dependendo do valor da corrente que será necessário medir, é necessário alterar o capacitor utilizado.

| Ruído $Pk - Pk$ (mV) | Resolução Corrente (mA) | Cf (nF) | BW (kHz) |
|----------------------|-------------------------|---------|----------|
| 92 | 497 | 0 | 80 |
| 46 | 249 | 4.7 | 19.9 |
| 26 | 141 | 22 | 4.3 |
| 20 | 108 | 47 | 2.0 |

Tabela 3.3: Nível de ruído e resolução vs. Capacitância de filtragem e resolução de largura de banda.

A tensão a ser medida será realizada diretamente, mas como a entrada pino de medição não deve possuir uma tensão maior do que 5V. Então será realizado um divisor de tensão para abaixar a tensão gerada. Este circuito é ilustrado a figura a seguir. O capacitor tem o objetivo de reduzir possíveis ruídos na medição.

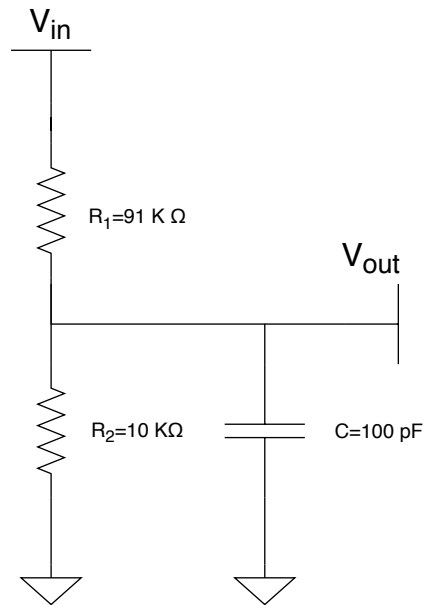


Figura 3.13: Divisor de tensão.

Outra medida a ser informada é a temperatura, pois apesar do aumento na irradiação solar sobre a placa fotovoltaica fornecer mais energia, o aumento da temperatura da placa danifica-a. Logo, sensor selecionado para esta medição é o LM35 encapsulado com proteção contra fatores adversos, como a chuva.



Figura 3.14: LM35 não encapsulado.

Este é um sensor digital, cuja faixa de operação é de 0 a 100°C com boa precisão, é utilizado em vários projetos de automação residencial/industrial, e de fácil aplicação para microprocessadores, como PIC, ARM, Arduino e Raspberry Pi, cuja comunicação ocorre por apenas um pino.

Enfim, o esquema de conexão de todos estes sensores é feita de acordo com a Figura 3.15.

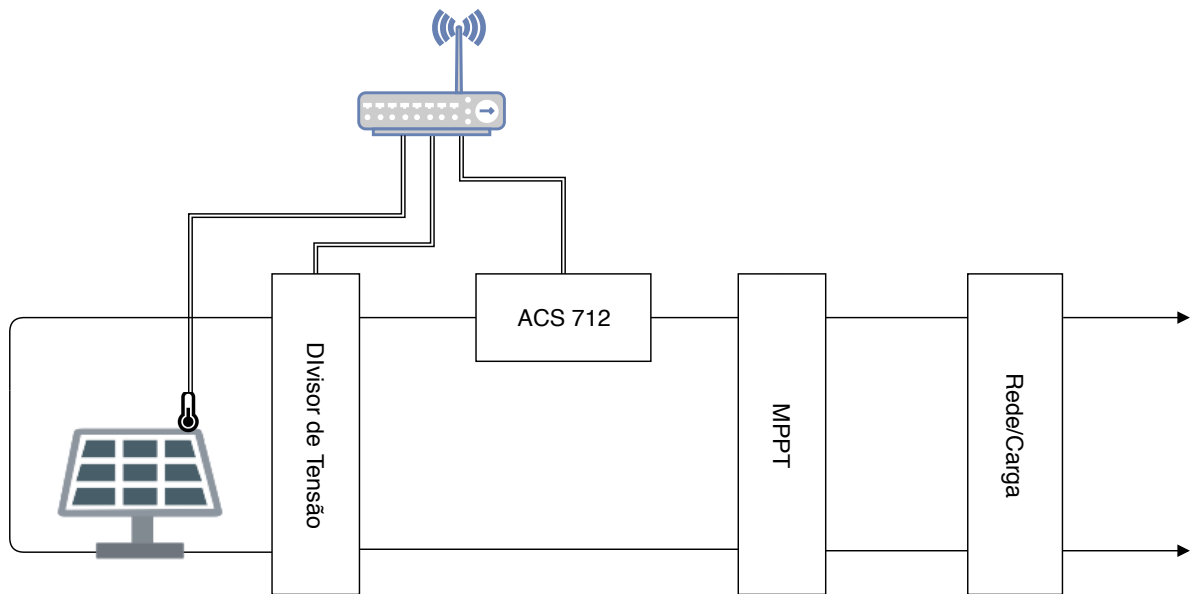


Figura 3.15: Esquema de conexão dos sensores ao sistema de geração de energia solar fotovoltaica.

Observe que para a medição adequada, é necessário que o sistema esteja conectado a um otimizador de potência em MPPT.

Com este esquema, foi projetado uma placa impressa para a unificação de todos os sensores apresentados na Figura 3.16. Observe a presença dos conectores Screw, que é o terminal de entrada para conexão com o sistema fotovoltaico, do sensor de Corrente ACS712, do conector grove para a comunicação com o DK107, e o divisor de tensão. A placa montada com todos estes componentes está apresentada na Figura 3.17.

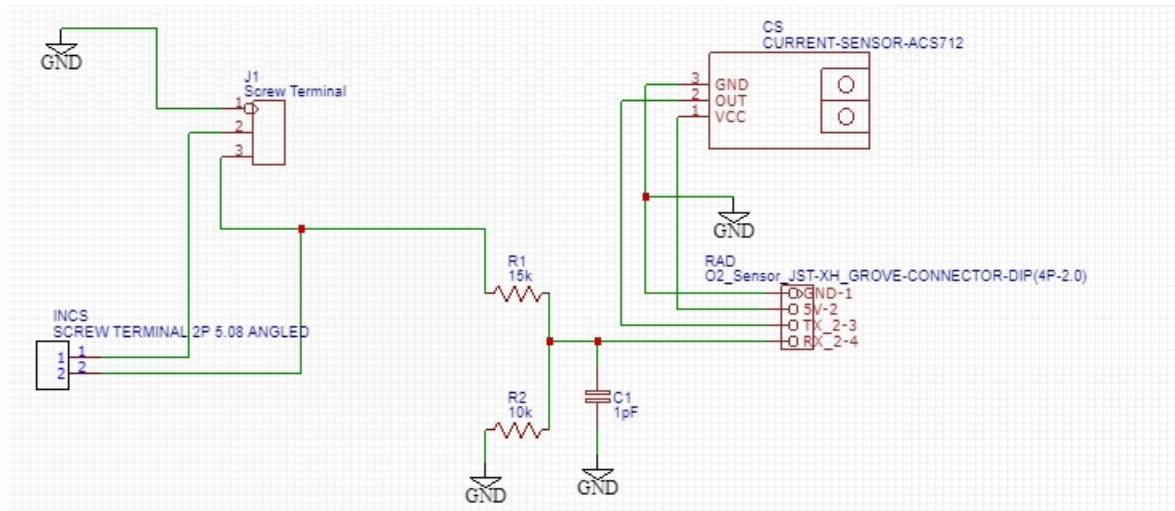


Figura 3.16: Esquema do circuito impresso

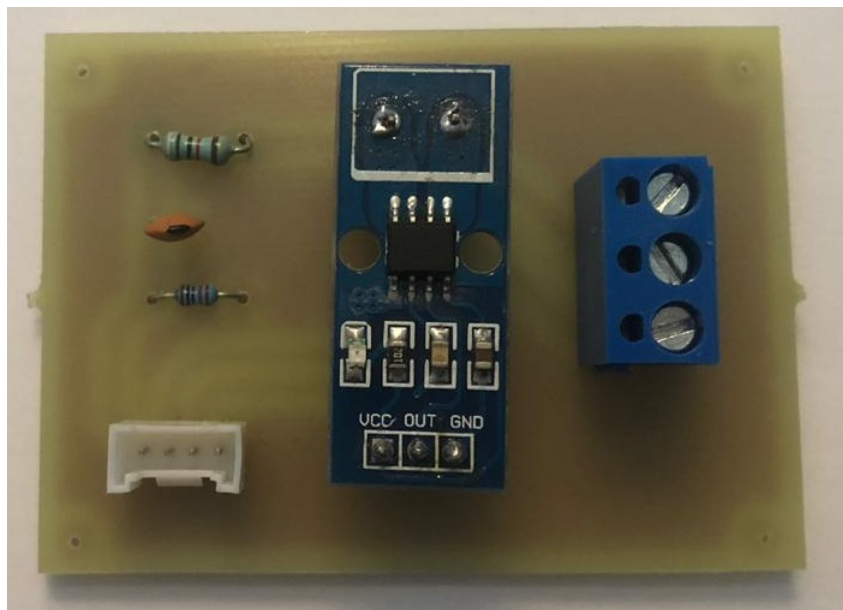


Figura 3.17: Circuito impresso pronto.

3.4 Método de transmissão

3.4.1 Rede de Sensores Sem Fio

A comunicação do sistema foi realizada por uma Rede de Sensores Sem Fio (RSSF). Uma RSSF monitora as condições do ambiente que a cerca, por meio de variados sensores e transmite esses dados sem a utilização de fios. Sendo usada nas áreas militar, meio-ambiente, saúde, residencial e industrial (AKYILDIZ; VURAN, 2010). Os Nós Sensores

são responsáveis por coletar informações do meio e enviar para a Estação Rádio Base (ERB). Esse, por sua vez, recebe as informações e está ligado ao gateway, que conecta a RSSF à Internet, isso pode ser feito através de Ethernet, Wi-Fi ou Universal Serial Bus (USB). Além dos módulos de comunicação, o bom funcionamento das RSSF também se deve às antenas utilizadas. A antena é um condutor que capta um sinal guiado (comunicação por fio) e o transforma em um sinal não guiado (transmissão pelo ar). As características de uma antena são determinadas pelo diagrama de irradiação da mesma (BRANQUINHO, 2014; DÉO; BRANQUINHO, 2017).

3.4.2 IoT Proxy Manager

Foi exposto por Oliveira (2016) que a RSSF possui limitações como falta de capacidade computacional e de “hosts”, necessitando de uma plataforma de gerenciamento no gateway. Ao avaliar os dados recebidos e a infraestrutura da rede, essa plataforma foi nomeada Proxy Manager. O Proxy Manager realiza três funções: Coleta e tratamento dos dados, interface entre os dados e a Internet e a aplicação na Internet, assim nesse trabalho esse elemento de borda foi denominado IoT Proxy Manager. Oliveira (2016) também propôs a estrutura como um todo, visto na Figura 3.18.

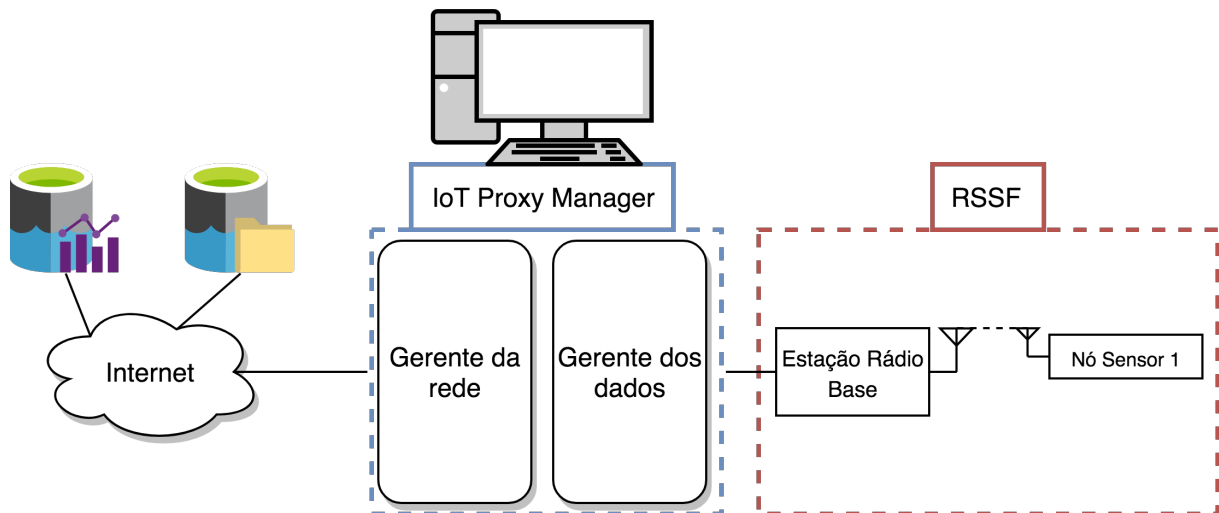


Figura 3.18: Diagrama em blocos da estrutura da rede.

Os elementos do sistema são: a RSSF; o IoT Proxy Manager, que realiza a conexão à Internet; e uma plataforma na nuvem, possuindo um banco de dados e a análise estatística

dos mesmos. No IoT Proxy Manager, há o Gerente da Rede, responsável por monitorar e controlar a rede, os parâmetros do sistema são inseridos através dele Stallings (1996). Também há o Gerente dos Dados que realiza cálculos estatísticos e tratamento dos dados. Ambas gerências são realizadas por meio de um script Python.

3.4.3 Módulos de comunicação e plataforma de desenvolvimento

Para a RSSF foi escolhido o módulo de comunicação BE900 que é considerado Low Power Wide Area Network (LPWAN) e opera nas frequências não licenciadas, que são reservadas para o desenvolvimento Industrial, Científico e Médico (Industrial Scientific and Medical, ISM).

Essa é uma tecnologia nacional e atende as regulamentações da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), o módulo utiliza uma plataforma open-source, tornando fácil a implementação de novos protocolos de comunicação e diferentes topologias de rede.

Para realizar a programação do Nó Sensor e assim o desenvolvimento da rede, foi utilizado a plataforma open-source Rádium. Essa ferramenta tem como modelo conceitual as camadas do Protocolo de Controle de Transmissão/Protocolo da Internet (Transmission Control Protocol/Internet Protocol, TCP/IP), sendo elas a Física, Controle de Acesso ao Meio (Media Access Control, MAC), Rede, Transporte e Aplicação.

Cada pacote possui 52 bytes, seguindo a seguinte estrutura: 16 bytes para os cabeçalhos das camadas Física, Enlace, Rede e Transporte (4 bytes cada uma), 18 bytes para os conversores analógico para digital (AD0, AD1, AD2, AD3, AD4 e AD5) e 18 bytes para as entradas ou saídas digitais (IO0, IO1, IO2, IO3, IO4 e IO5).

Nos bytes da camada Física são escritos os dados do “link” do rádio, tal como o Indicador da Intensidade do Sinal Recebido, (Received Signal Strength Indicator, RSSI) e o Indicador da Qualidade do “Link” (Link Quality Indicator, LQI). Na camada MAC é configurado o modo de repouso ou sleep mode, esse modo faz o dispositivo “dormir” entre transmissões, economizando energia e aumentando a vida útil do mesmo.

A camada de Rede é responsável pelo roteamento dos pacotes e a de Transporte pela contagem deles. A camada de Transporte também realiza a segurança das informações. A camada de Aplicação realiza as medidas dos Nós Sensores. Os elementos da rede e suas camadas estão dispostos na Figura 3.19.

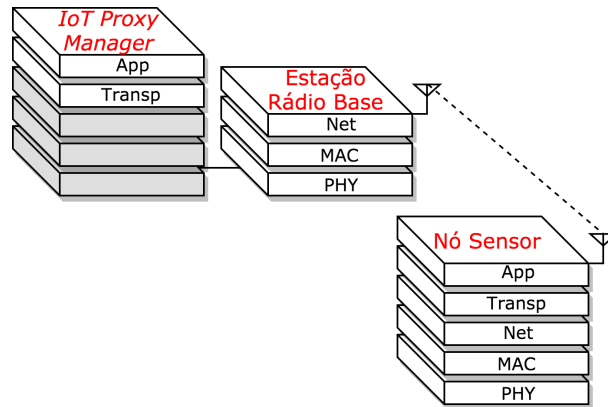


Figura 3.19: Elementos da rede e suas respectivas camadas.

Os firmwares da ERB só possuem as três primeiras camadas, pois não realiza nenhuma aplicação e não possui informações, isso é feito pelo IoT Proxy Manager que está conectado à ERB através de um cabo mini USB. O Nó Sensor possui todas as camadas e está se comunicando pelo ar.

3.4.4 Framework

Utilizando o modelo de referência, mostrado anteriormente, é possível desenvolver um framework, mostrando uma sequência de ações que concretizam a rede. Esse framework é visto na Figura 3.20.

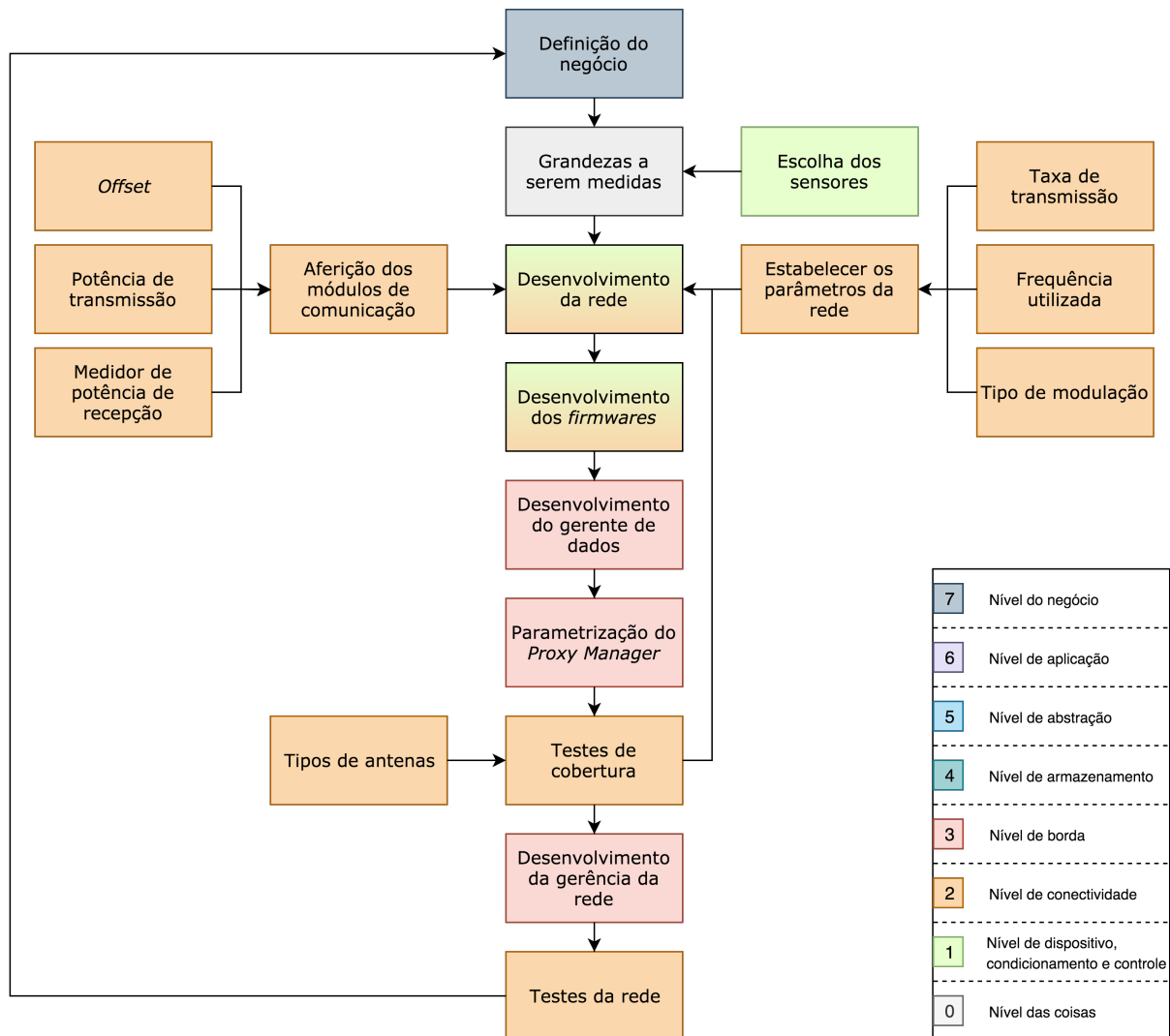


Figura 3.20: Framework.

O primeiro passo para o desenvolvimento de uma RSSF é definir: quem será o usuário dessa rede, o que ele deseja monitorar e com qual sensor. Após essa primeira análise é possível começar a desenvolver a rede, escolhendo os módulos de comunicação e os aferindo, desenvolvendo os parâmetros da rede e os firmwares que serão utilizados pelos módulos.

Um *survey* da área a ser monitorada deve ser realizado, levando em consideração a distância entres os pontos de medição e a localização dos mesmos. Verificando se há visada com a ERB, pontos de energia ou incidência solar e até se há a necessidade de alguma autorização mediante a instalação.

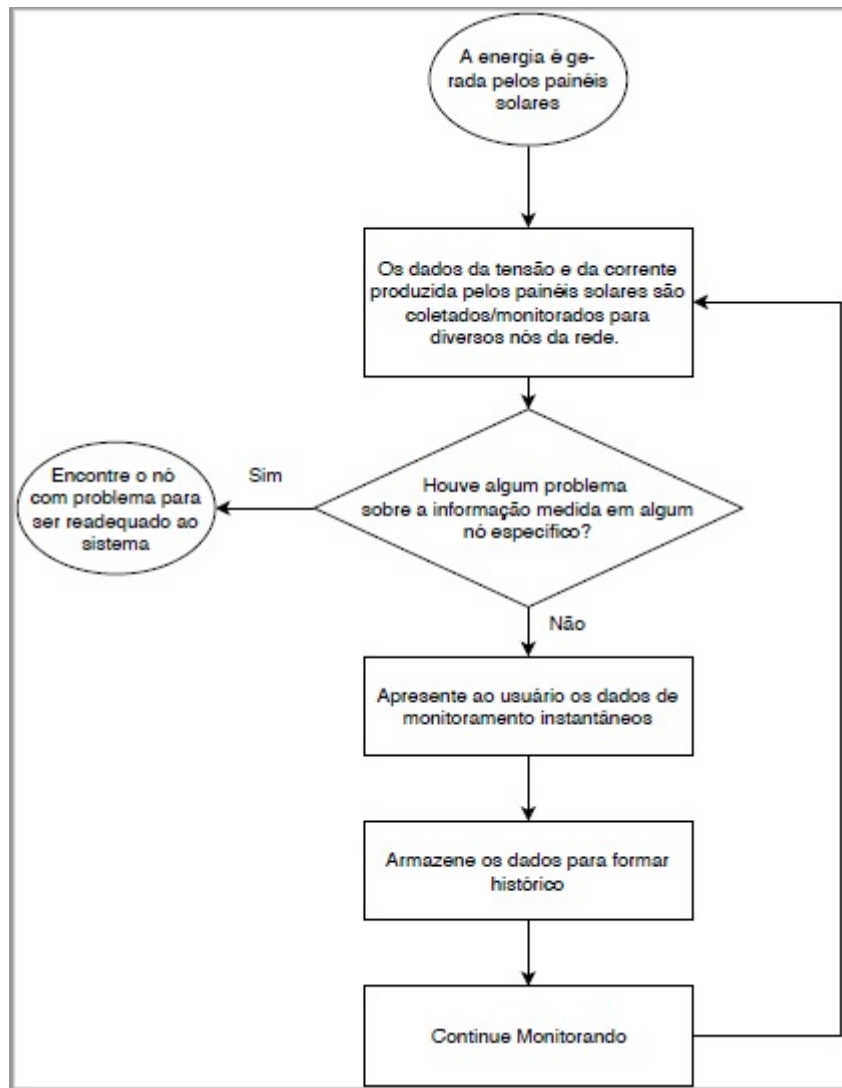


Figura 3.21: Fluxograma

Depois desse estudo, é decidido os tipos das antenas que realizam a melhor cobertura para cada caso e testes de campo para verificar a comunicação são realizados.

Feito toda esta análise, é preciso deixar a decisão no controle de alguém que esteja supervisionando toda a RSSF projetada para monitorar os dados da geração solar fotovoltaica. A Figura 3.21 apresenta a ideia envolvendo toda a RSSF.

Possíveis problemas que podem ocorrer neste sistema em que o supervisor será informado para a tomada de decisão são destacados a seguir

- Quando a diferença de tensão entre ambas as extremidades das placas cair a zero. Isto corresponde a um curto circuito, logo a instalação deve ser verificada para o sistema ser rearranjando.

- Temperatura muito alta dos painéis solares. Neste caso, pode ser ligado um sistema de resfriamento, visto que o calor reduz o tempo de vida do painel solar.
- Quando a diferença muito grande, não comum e por um longo período de tempo para um no específico com relação aos seus vizinhos. Neste caso, uma equipe de análise técnica pode ser chamada para verificar possíveis problemas que estejam interferindo na geração de energia sobre o nó específico

3.5 Software

3.5.1 Modelagem dos Dados

O presente sistema foi concebido, a princípio, para monitorar a produção de energia solar e a eficiência dos painéis fotovoltaicos instalados na Unicamp. No entanto o sistema foi implementado para atender uma maior variedade de clientes e usuários.

O sistema poderia ser comercializado para revendedores/fabricantes de painéis fotovoltaico, que agregaria ao seu produto um sistema de monitoramento e suporte ao pós-venda.

O sistema possibilita monitorar as usinas de diversos clientes. Cada cliente pode possuir uma ou várias usinas solares (instalações), as instalações são compostas por painéis fotovoltaicos. De cada painel solar são armazenadas as especificações do fornecedor, como a potência mínima, potência máxima, tensão máxima, eficiência e coeficiente térmico.

Dada as características e a quantidade de painéis fotovoltaico é possível determinar a potência total das instalações de um cliente. Para cada instalação são armazenados dois tipos de medição. Uma medição, realizada próximo ao tempo real, que armazena a medição realizada pelo sensor no momento que ela é recebida pelo elemento de borda, e uma medição das médias coletadas pelos sensores. Apenas a última medição próxima ao tempo real é armazenada no banco de dados. No armazenamento das medições por média é realizada a cada 30 minutos, podendo esse tempo ser reconfigurado.

Durante as medições o elemento de borda com base nas configurações da instalação verifica se ocorreu uma falha. Atualmente duas categorias de falhas são tratadas pelo sistema: falta de comunicação entre o elemento de borda e os sensores e a falha na potência gerada pela usina solar.

Quando a falha na comunicação entre o elemento de borda e os sensores, o algoritmo do elemento de borda tenta reestabelecer a conexão, caso contrário e registra a ocorrência da falha. No caso da falha na potência gerada pela usina solar, o sistema simplesmente registra a falha.

Para notificar o usuário que houve uma falha no sistema ou na usina, o elemento de borda encaminha e-mail e uma mensagem por WhatsApp para os contatos do cliente armazenados no sistema. A Figura 3.22 apresenta o modelo de entidade e relacionamento que o sistema utiliza para armazenar as informações.

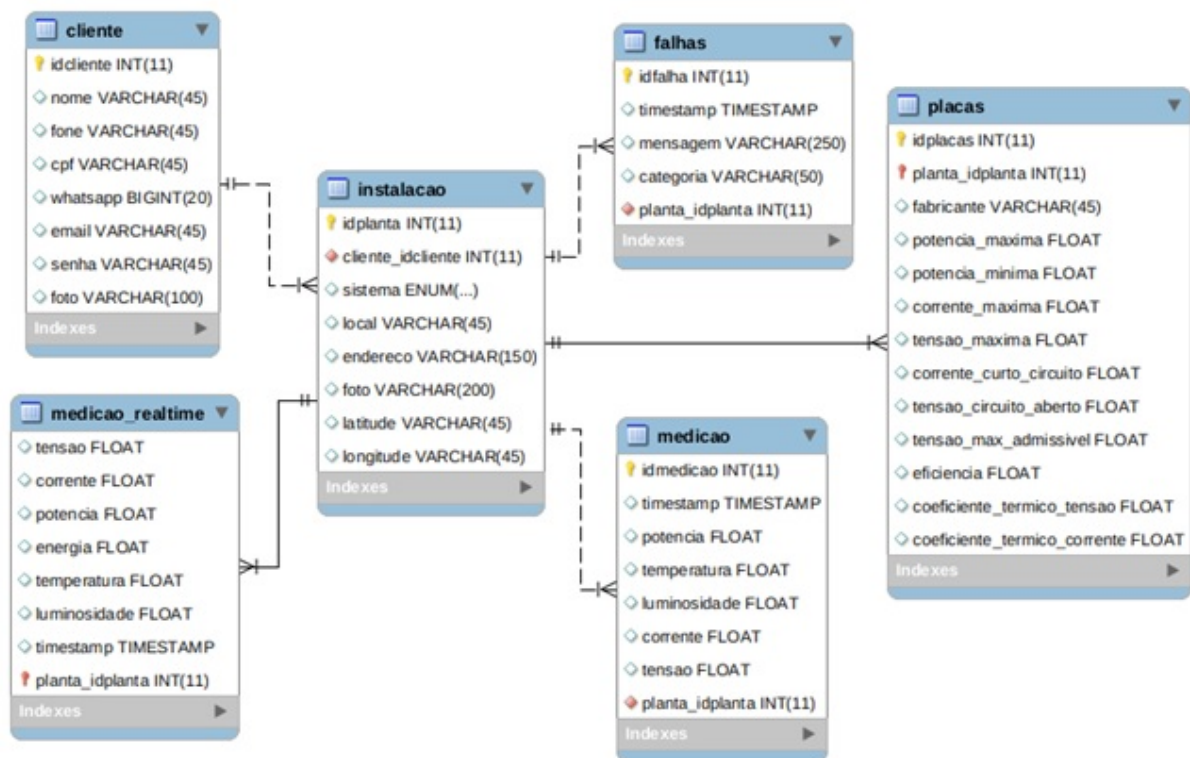


Figura 3.22: Modelo Entidade e Relacionamento.

3.5.2 Funcionalidades do sistema

Para apresentar as funcionalidades do sistema IOT de monitoramento solar é apresentado na Figura 3.23 o diagrama de casos de uso do sistema. O diagrama de casos de uso é um dos diagramas da UML – *Unified Modeling Language*, amplamente utilizado para a modelagem de sistemas.

No diagrama os atores (bonecos) representam os papéis que um usuário pode desempenhar ao utilizar o sistema. Os casos de uso (elipses) são as funções externamente observáveis do sistema que podem ser realizadas por um ator. Neste projeto o sistema possui 3 atores, o cliente, o operador e o ator sistêmico.

O ator cliente (proprietário) monitorar as medições realizadas pelo sistema e verificar a ocorrência de falhas, seja por falta de conexão ou por falha na produção de energia. O ator operador executa a maior parte das funcionalidades do sistema. Ele é responsável por cadastrar os clientes e suas usinas solares. Este ator precisa ter conhecimento sobre o negócio para configurá-lo e fornecer as especificações corretas dos painéis utilizados em cada instalação.

O operador também é responsável por monitorar o sistema e tomar as providências em caso de falha na geração de energia. Caso o sistema fosse adquirido por um fabricante ou revendedor de painéis solares as informações sobre falhas poderiam ser utilizadas para prestar serviços de pós-venda.

O sistema também é considerado um ator neste projeto, pois ele é responsável por receber as medições realizadas pelos sensores, realizar a análise de falhas e encaminha mensagens de alertas para os clientes e operadores cadastrados.

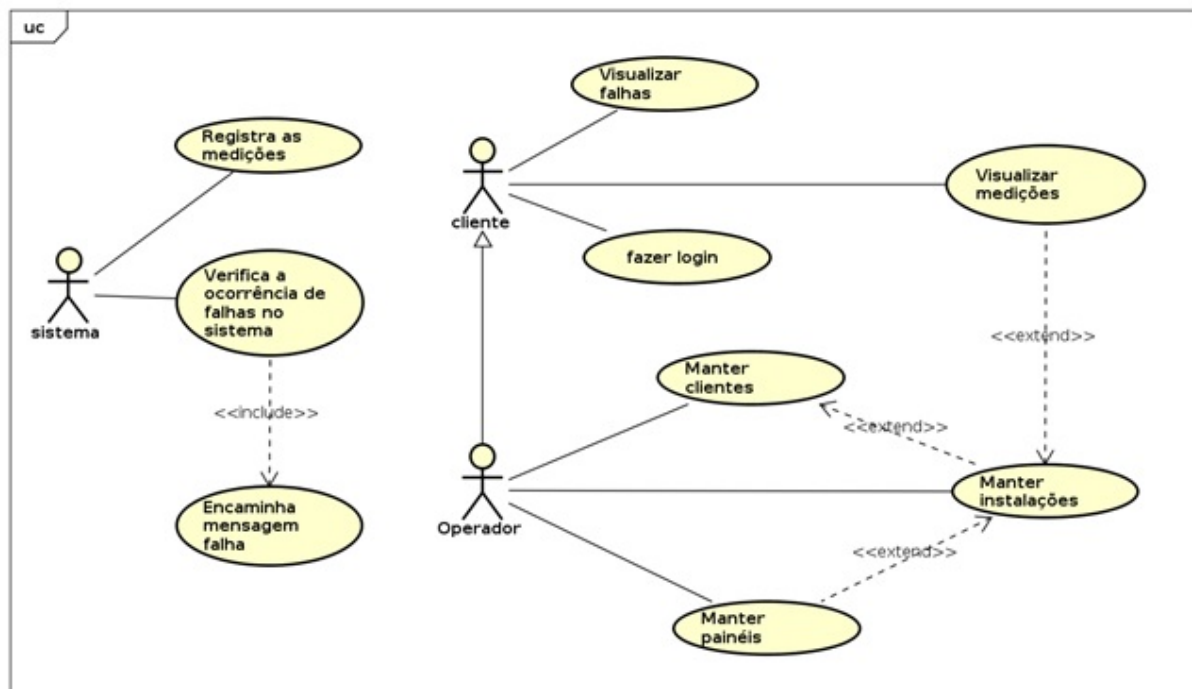


Figura 3.23: Diagrama de casos de uso.

3.5.3 Atividades do sistema

O sistema IOT de monitoramento solar é composto por 3 subsistemas que realizam atividades bem definidas. A fim de apresentar as funcionalidades desempenhada por cada módulo a Figura 3.24 apresenta o diagrama de atividades do sistema. O diagrama de atividades, assim como o diagrama de casos de uso, pertence a linguagem de modelagem unificada (UML), esse diagrama tem por objetivo demonstrar o comportamento do sistema e o fluxo de processamento.

O diagrama apresenta 4 guias, sendo que as 3 primeiras representam as atividades desempenhadas pelo sistema e a última guia representa o usuário do sistema.

A guia sensores é responsável por coletar os dados das usinas solares, após a coleta dos dados os *outliers* são removidos utilizando o método estatístico *z-score* melhorado. O *z-score* padrão utiliza a média e o desvio padrão para determinar se um ponto observado é um *outliers*, esse método é pouco preciso para pequenas amostras coletadas. O *z-score* melhorado utiliza a mediana e o desvio absoluto mediano, dessa forma o *z-score* melhorado não sofre a influência dos *outliers*, sendo mais efetivo na sua remoção.

O elemento de borda realiza a coleta e tratamento dos dados, a interface entre os dados e a Internet e a aplicação na Internet. Após a coleta e o tratamento, os dados são disponibilizados para o sistema web, que apresenta as informações aos operadores e clientes que podem tomar decisões.

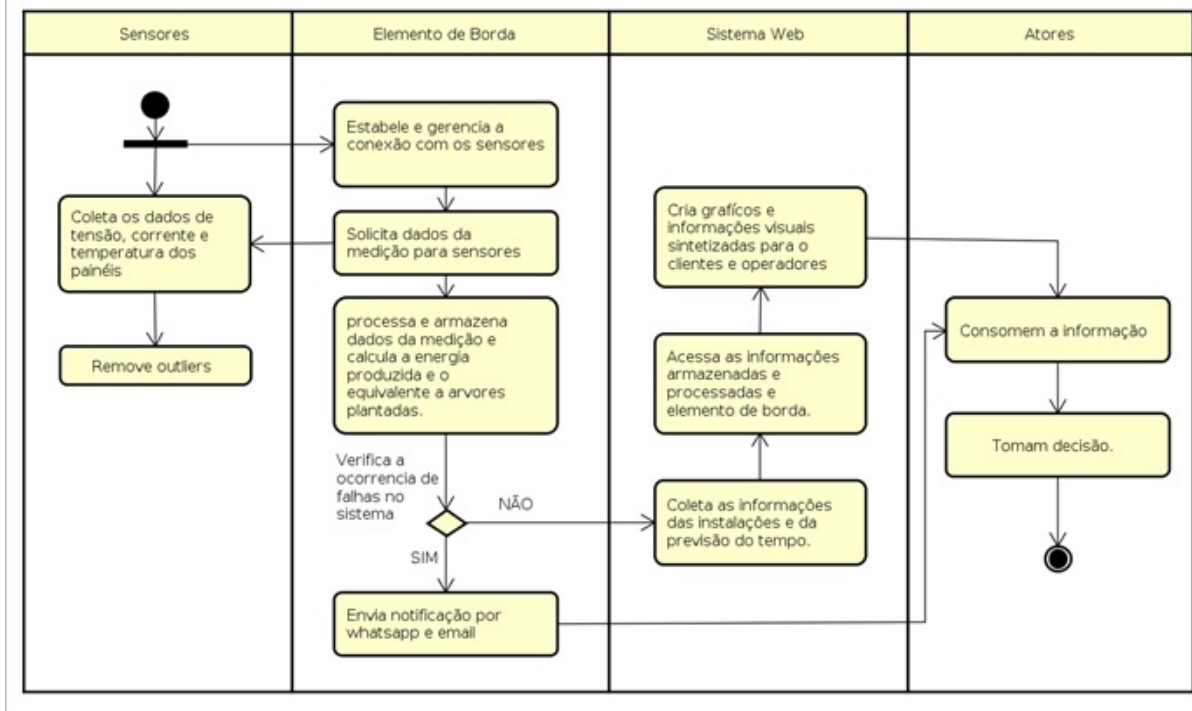


Figura 3.24: Diagrama de atividades.

3.5.4 Sistema Web

O sistema web é responsável por coletar os dados tratados do elemento de borda e gerar informações gerenciais para os usuários do sistema. As informações são apresentadas em formato de *dashboard*. As *dashboards* são painéis que mostram métricas e indicadores importantes para os atores do sistema tomarem decisões a alcançar seus objetivos e metas.

A Figura 3.25 apresenta a primeira versão da *dashboard* de monitoramento de uma usina fotovoltaica. Na *dashboard* é possível obter a quantidade de energia gerada até o momento, a potência atual e o histórico de geração, o valor em reais referente a energia produzida e coeficiente de árvores cultivadas, considerando o valor médio de emissão de CO₂.

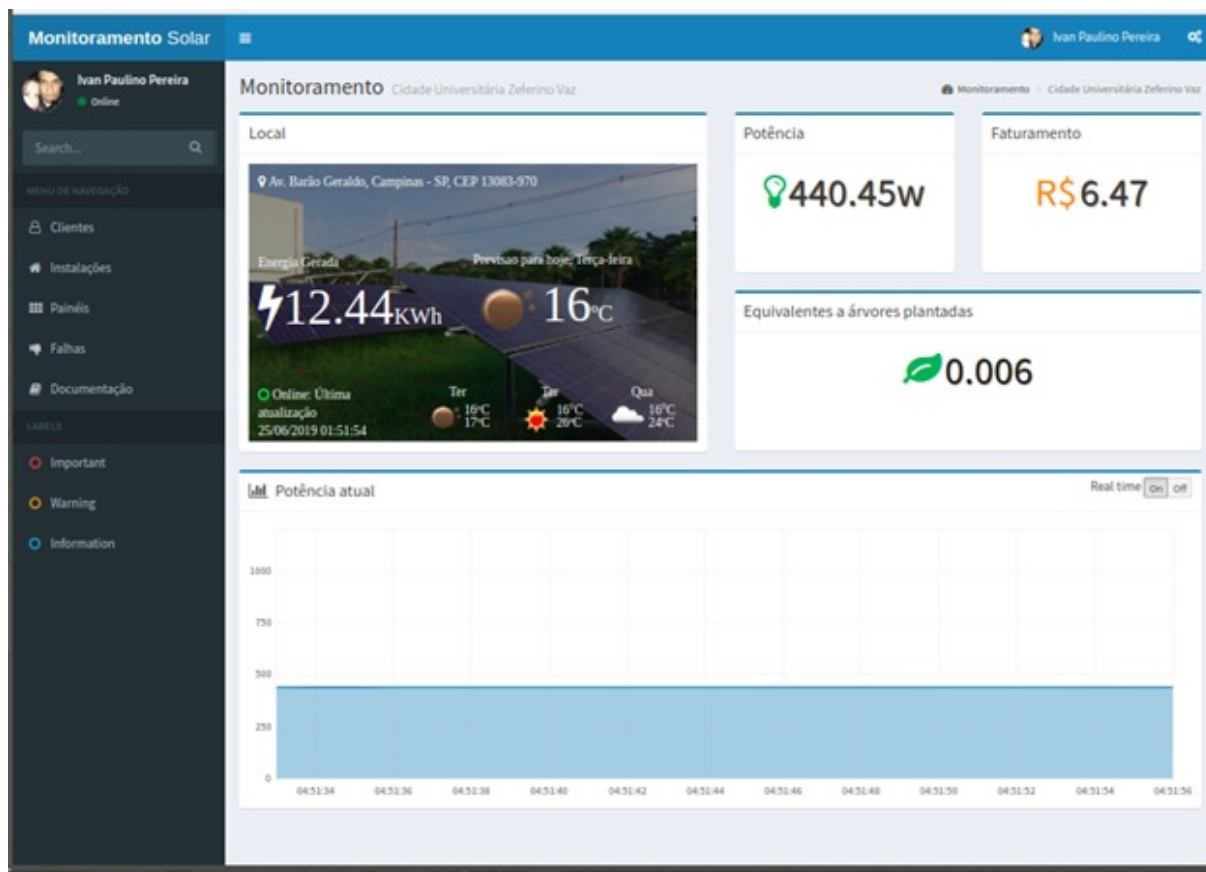


Figura 3.25: Dashboard do sistema web.

A Figura 3.26 apresenta as mensagens de falhas detectadas pelo sistema. Além das mensagens de falha exibidas no sistema web notificações por e-mail e por WhatsApp também são enviadas aos atores do sistema.

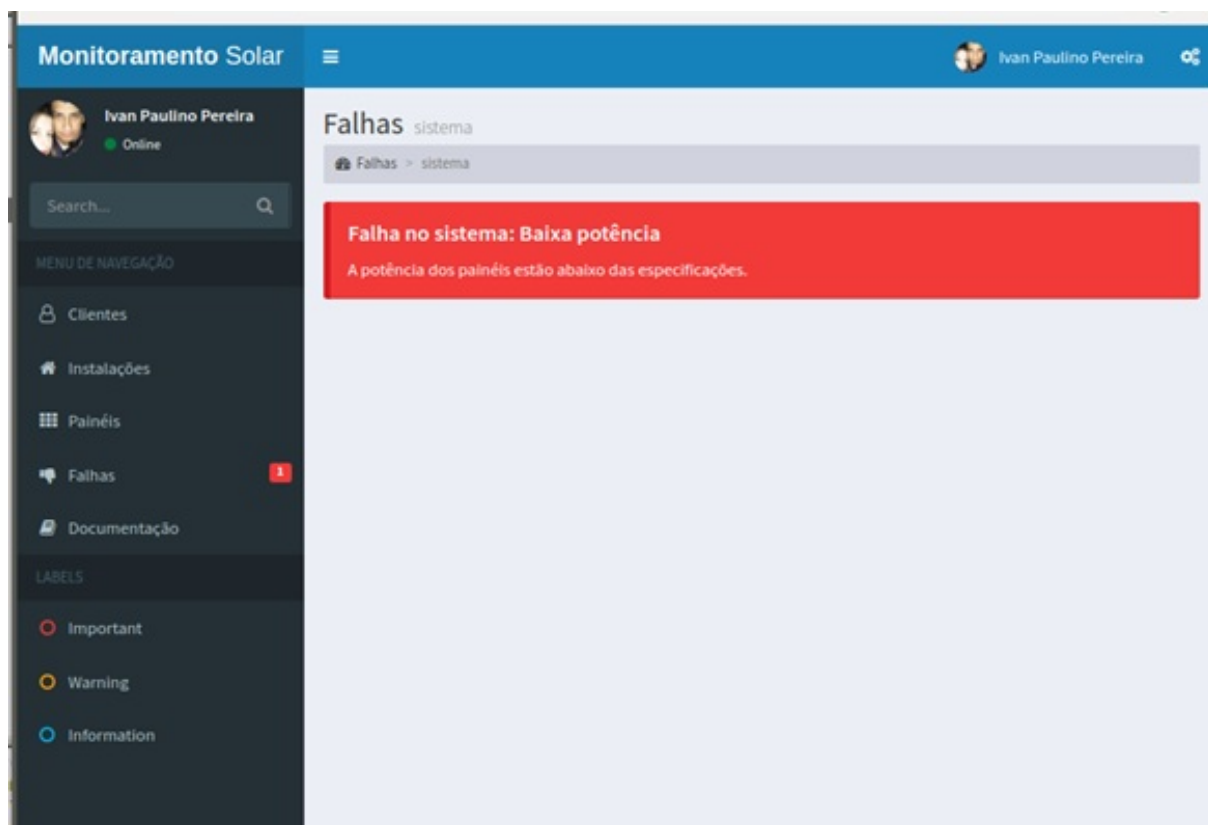


Figura 3.26: Alertas de falhas.

A Figura 3.27 apresenta a tela de cadastro de painéis fotovoltaicos de uma usina solar. Nessa tela é possível realizar as operações CRUD (*create, retrieve, update e delete*). Os dados cadastros são utilizados para a identificação de falhas na produção de energia e na queda de eficiência do sistema.

Monitoramento Solar

Ivan Paulino Pereira Online

Search...

MENU DE NAVEGAÇÃO

- Clientes
- Instalações
- Painéis
- Falhas
- Documentação

LABELS

- Important
- Warning
- Information

Cadastros Painéis fotovoltaicos

Cadastros > Painéis fotovoltaicos

Painéis fotovoltaicos

Fabricante* :

Potência máxima(W)
(P_{max})* :

Potência mínima(W)
(P_{min}) :

Corrente máxima(A)
(I_{max}) :

Tensão máxima(V)
(V_{max})* :

Corrente curto-circuito(A)
(I_{cc}) :

Tensão :

Figura 3.27: Tela de cadastro de painéis fotovoltaicos.

Capítulo 4

Resultados

Com base em toda a abordagem descrita no Capítulo 3, os resultados são obtidos de forma prática contemplando todo o modelo de referência e destacando as etapas da leitura adequado dos sensores envolvidos, da transmissão bem sucedida dos dados, do armazenamento e da correta exibição pelo *software* das informações monitoradas.

A Figura 4.1 apresenta a versão final da *dashboard* discutida no Capítulo anterior, com os valores atuais do monitoramento dos dados da tensão, corrente, faturamento, número de árvores plantadas e a potência gerada. As outras funcionalidades que estão presentes neste ambiente web estão bem detalhadas no Seção 3.5.

Todos os algoritmos utilizados no projeto estão presentes na página do GitHub referente ao projeto (https://github.com/softip/monitoramento_solar), incluindo um vídeo apresentando o funcionamento do sistema.

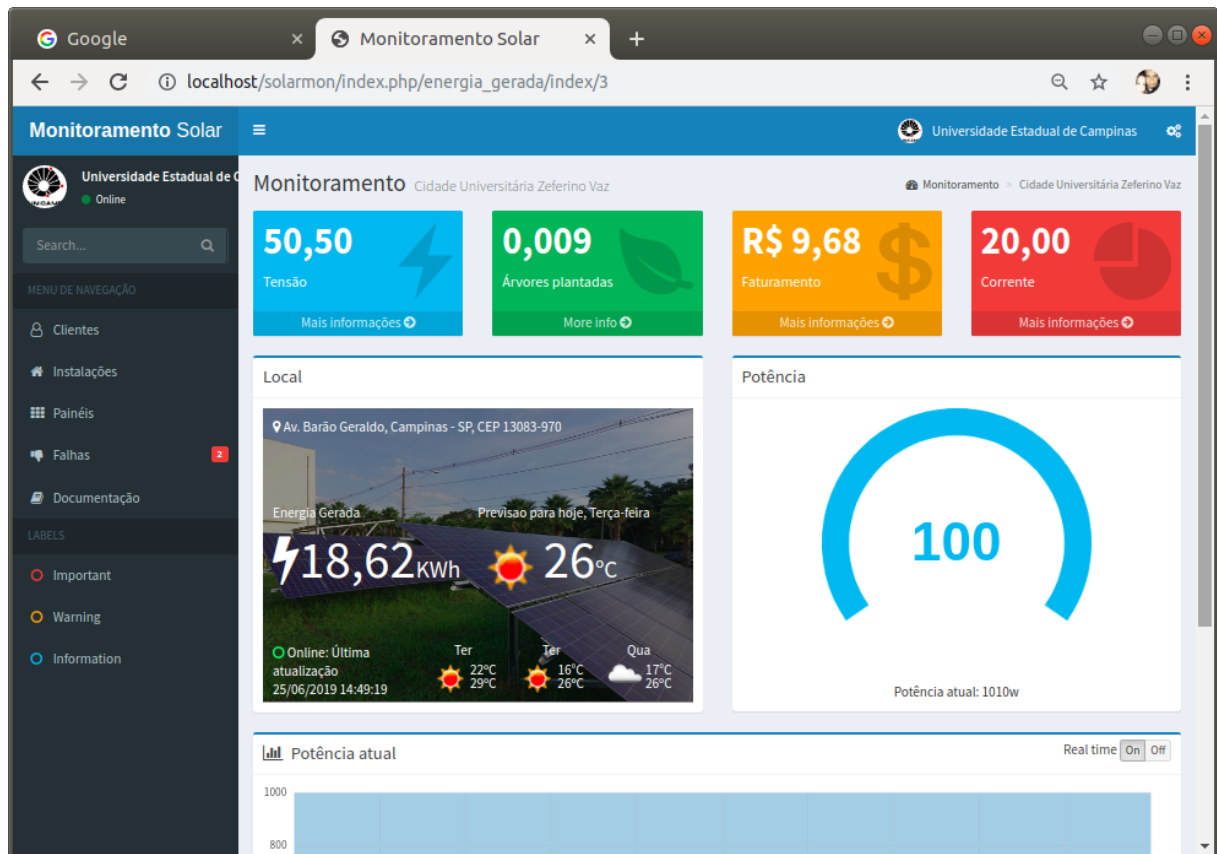


Figura 4.1: Ambiente com a apresentação dos dados monitorados.

Capítulo 5

Conclusão

O presente projeto teve como objetivo o monitoramento de placas fotovoltaicas instaladas na Unicamp, em virtude do projeto de campus sustentável em conjunto com a CPFL.

É possível concluir que questões envolvendo a eficiência dos painéis e seu tempo de vida útil condicionado ao ambiente climático ao que estão expostos necessita de maior tempo de estudo. Assim, seria possível a criação de um histórico para uma análise mais efetiva deste aspecto.

Em relação à economia de energia, foi concluído que o monitoramento dos painéis pode contribuir para melhor desempenho do sistema e, conseqüentemente, maior economia. Tal fato é corroborado pela presença da tomada de decisão em sistemas IoT possibilita ao cliente e ao operador estarem cientes do funcionamento dos produtos comercializados.

Referências bibliográficas

AKYILDIZ, I. F.; VURAN, M. C. **Wireless Sensor Networks - Vol.4**. [S.l.]: JohnWiley e Sons, 2010. ISBN 9780470036013.

ANEEL. Energia no Brasil e no Mundo., 2019. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par1_cap2.pdf>.

BRANQUINHO, O. **Tecnologias de Redes sem Fio**. [S.l.]: Rede Nacional de Ensino e Pesquisa – RNP, 2014. ISBN 9788563630490.

CAETANO, R. ATmega328, 2018. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/ronaldoecaetano/microcontrolador/atmega328>>.

CPFL. CPFL Energia investe R\$ 8,1 milhões no Projeto Campus Sustentável da Unicamp, 2018. Disponível em: <<https://www.cpfl.com.br/releases/Paginas/cpfl-energia-investe-81-milhoes-no-projeto-campus-sustentavel-da-unicamp.aspx>>.

— Desenvolvimento de um modelo de Campus Sustentável na UNICAMP – Laboratório vivo de mini geração renovável, mobilidade elétrica, eficiência energética, monitoramento e gestão do consumo de energia. 2017, 2017. Disponível em: <http://www.ggus.depi.unicamp.br/wp-content/uploads/2016/03/Chamada-001_Apresenta%5C%C3%5C%A7%5C%C3%5C%A3oCGU.pdf>.

DÉO, A.; BRANQUINHO, O. Zabbix Aplicado a IoT com Foco no Mercado de Pequenas e Médias Empresas, 2017. Disponível em: <<http://lcv.fee.unicamp.br/images/BTSym-17/Papers/76634.pdf>>.

GONCALVES, A. R. et al. CENÁRIOS DE EXPANSÃO DA GERAÇÃO SOLAR E EÓLICA NA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA. **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar**, 2018. Disponível em: <<https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/499/499>>.

INSTRUMENTS, T. Low-Power Sub-1 GHz RF Transceiver, 2018. Disponível em: <<http://www.mouser.com/ds/2/405/cc1101-82476.pdf>>.

LUCAS. Como Funciona A Energia Solar On-Grid, Off-Grid E Híbrida. **ENERGIA SOLAR INSTALADOR SOLAR DE ALTA PERFORMANCE**, 2019. Disponível em: <<https://cursopainelsolar.com/como-funciona-a-energia-solar-on-grid-off-grid-e-hibrida/>>.

MÜLLER, N. Sustentabilidade Ambiental na Geração de Energia Fotovoltaica. **SOLAR-VOLT**, 2019. Disponível em: <<https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/sustentabilidade-ambiental/>>.

OLIVEIRA, R. **Proposta de um Proxy Manager Para Internet das Coisas**. 2016. Dissertação – Pontifícia Universidade Católica de Campinas.

PEREIRA, R. O que é Geração Distribuída – GD. **Portal Solar**, 2019. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/o-que-e-geracao-distribuida.html>>.

PORTALSOLAR. Tudo sobre a Eficiência do Painel Solar, 2019. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/tudo-sobre-a-eficiencia-do-painel-solar.html>>.

SOLARBRASIL. Como escolher a bateria para um sistema de energia fotovoltaica Off-grid? **Solar Brasil Tecnologia & Energia Fotovoltaica Ltda**, 2019.

STALLINGS, W. **SNMP, SNMPv2, and RMON: Practical Network Management**. [S.l.]: Addison Wesley Longman Publishing Co., 1996. ISBN 0201634791.

VILLALVA, M.; GAZOLI, J. **ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: CONCEITOS E APLICAÇÕES**. [S.l.]: ERICA, 2015. ISBN 9788536504162. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=et02NAEACAAJ>>.