

JOSÉ MARCELO DE ASSIS WENDLING JÚNIOR

**Proposta de controlador de carga com MPPT
utilizando LabVIEW**

José Marcelo de Assis Wendling Júnior

Proposta de controlador de carga com MPPT utilizando LabVIEW

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Mesquita

Guaratinguetá
2015

W471p	<p>Wendling Júnior, José Marcelo de Assis Proposta de controlador de carga com MPPT utilizando LabVIEW / José Marcelo de Assis Wendling Júnior – Guaratinguetá, 2015. 45 f : il. Bibliografia: f. 44-45</p> <p>Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2015. Orientador: Prof. Dr. Leonardo Mesquita</p> <p>1. Energia solar 2. Geração de energia fotovoltaica 3. Energia elétrica I. Título</p> <p style="text-align: right;">CDU 620.91</p>
-------	---

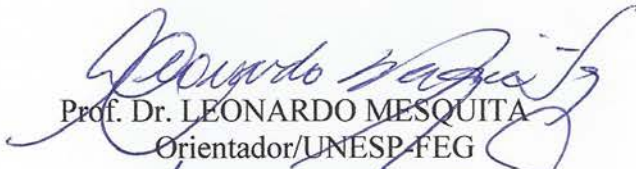
José Marcelo de Assis Wendling Júnior

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“GRADUADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA”

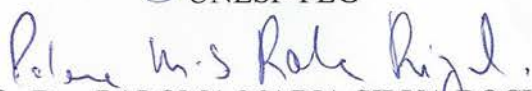
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Prof. Dr. LEONARDO MESQUITA
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. LEONARDO MESQUITA
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. LUIZ OCTÁVIO MATTOS DOS REIS
UNESP-FEG


Prof. Dra. PALOMA MARIA SILVA ROCHA RIZOL
UNESP-FEG

Janeiro de 2016

DADOS CURRICULARES

José Marcelo de Assis Wendling Júnior

NASCIMENTO	11.04.1988 – GUARATINGUETÁ / SP
FILIAÇÃO	José Marcelo de Assis Wendling Simone Daló Wendling
2003/2005	Curso Técnico de Nível Médio Eletrônica – Colégio Técnico Industrial de Guaratinguetá – UNESP
2008/2015	Curso de Graduação Engenharia Elétrica – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá - UNESP

aos amores de minha vida, meu pai, minha mãe, meu irmão e
minha futura esposa, que seguraram firme em minhas mãos e
não me deixaram cair.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a minha família e minha noiva, que acreditaram na minha capacidade e competência para executar meus trabalhos. Dia após dia, incentivando e proporcionando, mesmo nas dificuldades, meios para que eu concluísse mais essa etapa. Serei eternamente grato pelas palavras, pelos sorrisos e pelos ombros emprestados em muitos tropeços que tive em todo esse tempo de graduação.

ao meu orientador, *Prof. Dr. Leonardo Mesquita*, pela confiança depositada e amizade desenvolvida nesses anos em que trabalhamos juntos.

aos amigos que fazem ou fizeram parte de minha vida e que me ensinaram, de alguma forma, que podemos superar os desafios impostos em nossa jornada.

“Valeu a pena? Tudo vale a pena se a alma não é pequena. Quem quer passar além do Bojador tem que passar além da dor. Deus ao mar o perigo e o abismo deu, mas nele espelhou o céu.”

Fernando Pessoa

WENDLING JR., J. M. A. **Proposta de controlador de carga com MPPT utilizando LabVIEW**. 2015. 45 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

RESUMO

Neste trabalho apresenta-se a proposta de um dos módulos de um sistema de gerenciamento de energia elétrica utilizando painéis fotovoltaicos. O módulo proposto busca monitorar os painéis fotovoltaicos, que possuem intermitências na geração de energia causadas por condições ambientais ou de carga, a fim de controlar o acoplamento entre o painel e a carga – através do controlador de carga, objetivando que a operação do painel seja sempre no ponto de máxima transferência de potência possível. Para isso, foi utilizada a técnica de rastreamento do ponto de máxima potência – MPPT, implementado no *software* NI LabVIEW, utilizando também a placa de aquisição de dados NI MyDAQ. Além disso, foi implementado o módulo de acesso remoto do controlador, a partir do compartilhamento dos dados em rede, para que se possa, por meio de um *tablet*, monitorar e controlar o desempenho dos painéis sem a necessidade de contato direto com o servidor do supervisor.

PALAVRAS-CHAVE: Painel Fotovoltaico. MPPT. LabVIEW.

WENDLING JR., J. M. A. **Proposal for MPPT charge controller using LabVIEW**. 2015. 45 f. Graduate Work (Graduate in Electrical Engineering) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

ABSTRACT

This paper presents one proposal of the energy management's model system using photovoltaic panels. The module proposed seeks to monitor photovoltaic panels, which have intermittency in power generation caused by environmental or load conditions, in order to control the coupling between the panel and the load - through the charge controller, of aiming that the panel's operation will be always on the maximum power transfer point as possible. For this, it used the maximum power point tracking technique – MPPT, implemented in LabVIEW software, also utilizing the data acquisition card NI myDAQ. In addition, it was implemented the controller access remote module, from the sharing of network data, so the panels performance can be through a tablet, monitored and controlled with no need for direct contact with the Supervisory server.

KEYWORDS: Photovoltaic Panel. MPPT. LabVIEW.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação dos principais eventos no desenvolvimento das células solares.....	14
Figura 2 - Sistema Fotovoltaico básico.	16
Figura 3 - Painel frontal de interface com o usuário em LabVIEW para análise de vibração.	18
Figura 4 – Diagrama de blocos de um instrumento virtual para análise de vibração no LabVIEW.....	18
Figura 5 - Curvas de corrente (azul) e potência (vermelha) em função da tensão de saída de um painel fotovoltaico.	20
Figura 6 - Modelo elétrico de um painel fotovoltaico.	21
Figura 7 - Curvas IxV e PxV para temperatura constante (25 [°C]) para três valores de intensidade de radiação solar diferentes.	23
Figura 8 - Curvas IxV e PxV para radiação solar constante de 1 [kW/m ²] para três valores de temperatura.	23
Figura 9 - Ilustração do rastreamento do ponto de máxima transferência de potência.	24
Figura 10 - Número de artigos científicos que abordam MPPT por ano.....	26
Figura 11 - Algoritmo MPPT Condutância Incremental.	28
Figura 12 - Diagrama de blocos geral do sistema proposto.	29
Figura 13 – Banca de testes implantada para o sistema proposto.	30
Figura 14 - Visão geral da placa de aquisição NI MyDAQ.....	31
Figura 15 - Diagrama de blocos do <i>hardware</i> da plataforma NI MyDAQ.	31
Figura 16 - Circuito amostrador de tensão implementado.	32
Figura 17 – Imagem da placa ACS712 utilizada para medição de corrente.....	34
Figura 18 - Diagrama esquemático do sensor de corrente ACS712 da SparkFun.	34
Figura 19 - Diagrama de blocos funcional do circuito integrado ACS712.	34
Figura 20 - Aquisição dos dados dos sensores de tensão e corrente do módulo proposto.	36
Figura 21 - Lógica do algoritmo MPPT Condutância Incremental implementado no LabVIEW.....	38
Figura 22 - Geração do sinal PWM de saída do módulo proposto.....	38
Figura 23 - Forma de onda da saída do sistema, verificada em um osciloscópio.	39
Figura 24 - Interface de usuário da aplicação implementada.	40
Figura 25 - Tela inicial da aplicação <i>mobile</i> do controlador proposto.	41
Figura 26 - Tela de monitoramento de performance da tensão e corrente do aplicativo <i>mobile</i>	42

Figura 27 - Tela de monitoramento de performance da potência e do *duty cycle* da aplicação remota.42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Desenvolvimento das células solares em Si.	15
Tabela 2 - Comparativo entre as principais características dos principais métodos MPPT.	26

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	BREVE HISTÓRICO DAS CÉLULAS SOLARES	13
1.2	COMPONENTES DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO	15
1.3	INSTRUMENTAÇÃO VIRTUAL E O SOFTWARE NI LABVIEW	16
1.4	OBJETIVOS DO TRABALHO	19
1.5	PLANO DE TRABALHO	19
2	PAINEL FOTOVOLTAICO: PARÂMETROS, MODELO E INFLUÊNCIA DE RADIAÇÃO SOLAR E TEMPERATURA	20
2.1	MODELO ELÉTRICO E MATEMÁTICO	21
2.2	INFLUÊNCIA DA RADIAÇÃO SOLAR	22
2.3	INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DO PAINEL.....	22
3	RASTREAMENTO DO PONTO DE MÁXIMA POTÊNCIA – MPPT	24
3.1	MPPT CONDUTÂNCIA INCREMENTAL	26
4	MÓDULO IMPLEMENTADO	29
4.1	PLACA DE AQUISIÇÃO NI MYDAQ	30
4.2	SENSORES DE TENSÃO E CORRENTE.....	32
4.2.1	Sensor de Tensão – Amostrador	32
4.2.2	Sensor de Corrente	33
4.3	SOFTWARE EM LABVIEW	35
4.3.1	Software Supervisório	35
4.3.2	Software Mobile	40
5	CONCLUSÃO	43
	REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

Segundo Villalva e Gazoli (2012), o sol é a principal fonte de energia do planeta, que recebe anualmente uma quantidade de energia solar suficiente para suprir milhares de vezes toda sua necessidade. Embora pouco aproveitada, a energia solar fotovoltaica é utilizada para produção de eletricidade a partir do efeito fotovoltaico, que nada mais é que a captação da luz solar para produção direta de corrente elétrica. Essa corrente é coletada e processada por dispositivos controladores e conversores, podendo ser armazenada em baterias ou utilizada diretamente em sistemas conectados à rede elétrica (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

O trabalho proposto apresenta uma solução em *software*, por meio do uso de instrumentação virtual, para utilização de painéis fotovoltaicos, fazendo monitoramento e controle de forma local e remota, a fim de atuar no sistema de acoplamento entre o painel e a carga para que o sistema trabalhe sempre no ponto de máxima transferência de potência das células.

O sistema completo, apresentado posteriormente, foi dividido em módulos e este trabalho representa um desses módulos. Para trabalhos futuros está proposto o desenvolvimento dos demais módulos, que serão apresentados de modo sucinto ao longo do trabalho.

1.1 BREVE HISTÓRICO DAS CÉLULAS SOLARES

A origem das células solares, de acordo com Partain (1995), pode ser estimada por volta de 1839, com a descoberta de Edmond Becquerel do efeito fotovoltaico, que foi causado pela exposição de um eletrodo imerso em uma solução eletrolítica à luz. Em 1877, Adams e Day reportaram um efeito similar em selênio sólido. Os trabalhos subsequentes se basearam em estudos de estruturas de estado sólido e, em 1914, foram desenvolvidas as primeiras células solares baseadas em selênio, com, aproximadamente, 1% de eficiência na conversão direta de luz solar em corrente contínua.

Os semicondutores modernos começaram a ser utilizados na produção de células solares em 1954, onde Chapin, Fuller e Pearson reportaram, em 1954, uma eficiência de 6% para cristais de silício e Reynolds, Leies, Antes e Marburguer, também em 1954, descreveram uma eficiência também de 6% para o que eles chamaram de célula de sulfeto de cobre / sulfeto de cádmio. A partir de meados da década de 80 houve um grande aumento no desenvolvimento

da eficiência de células solares, chegando a atingir eficiência na conversão de 33% à 35%, como no caso das células de arsenieto de gálio / antimoneto de gálio ensaiadas em laboratório.

A Figura 1 apresenta os principais eventos ocorridos durante o período do desenvolvimento das pesquisas com células solares.

Figura 1 - Representação dos principais eventos no desenvolvimento das células solares.

1800	Descoberta do Selênio (Se) (Berzelius)
1820	Preparação do Silício (Si) (Berzelius)
1840	Efeito Fotovoltaico (Becquerel)
1860	Efeito Fotocondutivo no Se (Smith)
	Retificador do Ponto de Contato (Braun)
1880	Efeito Fotovoltaico no Se (Adams & Day)
	Células Fotovoltaicas de Se (Fritts/Uljanin)
1900	Fotosensitividade em Cu-Cu ₂ O (Hallwachs)
1910	
	Efeito Fotovoltaico com Barreira de Potencial (Goldman & Brodsky)
1920	Monocristal a partir do Si Fundido (Czochralski)
	Retificador de Cu-Cu ₂ O (Grondahl)
1930	Célula Fotovoltaica de Cu-Cu ₂ O (Grondahl & Geiger)
	Teoria de Bandas em Sólidos (Strutt/Brillouin/Kronig & P)
	Teoria de Células com Barreiras V e H (Schottky et al)
1940	Teoria da Difusão Eletrônica (Dember)
	Aplicações Fotométricas (Lange)
	1% eficiência em Células de Sulfeto de Tálcio (TI ₂ S) (Nix & Treptow)
1950	Crescimento de Células Fotovoltaicas com Junção (Ohl)
	Teoria de Junções p-n (Shockley)
1955	Junções p-n Difundidas (Fuller)
1958	Célula Solar de Si (Pearson, Fuller & Chapin)
1960	Célula Solar de CdS (Reynolds et al)
	Teoria de Células Solares (Piann & Roosbroeck/Prince)
1962	O "Bandgap" e a Eficiência das Células (Loferski, R. & W)
	Teoria da Resposta Espectral, Mecanismos de Perdas (Wolf)
	Efeitos de Resistência em Série (Wolf & Rauschenbach)
	Células de Si n/p Resistentes a Radiação (Kesperis & M.)
	Contatos Evaporados de Ti-Ag (BTL)
1973	Células Violetas, com 15,2% de eficiência
1980	Células de Silício Amorfo
1992	Células MIS, de 24%

A Tabela 1 apresenta um breve histórico do desenvolvimento de células solares baseadas em Silício, produzidas em laboratório que ainda apresentam alto custo de produção em nível comercial.

Tabela 1 - Desenvolvimento das células solares em Si.

Tecnologia	Desenvolvimento	Eficiência
Célula Negra	1974 – 1983	17%
Célula MIS (<i>Metal Insulator Semiconductor</i>)	1983 – 1984	18%
Célula PESC (<i>Passivated Emitter Solar Cell</i>)	1984 – 1986	20%
Célula de Contato Pontual (<i>Point Contact Solar Cells</i>)	1987 – 1988	21,6%
Célula PERL (<i>Passivated Emitter and Rear Locally Difused</i>)	1989 – 1993	22,3%
Célula PERF (<i>Passivated Emitter and Rear Floating Junction</i>)	a partir de 1994	24%

Fonte: (GTES, 1999)

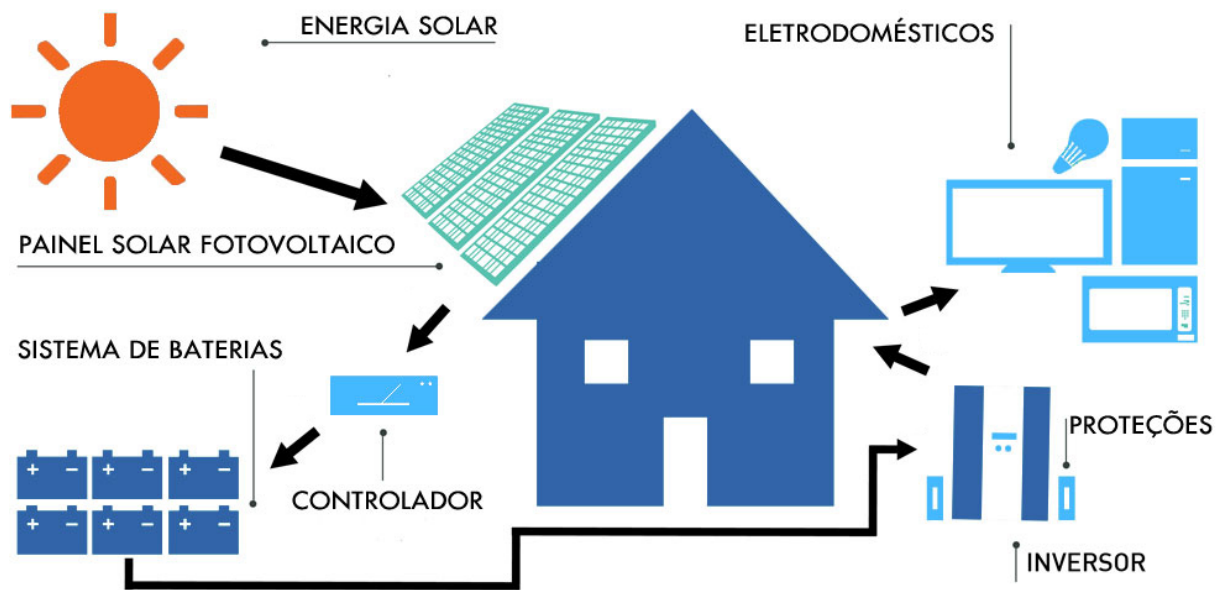
1.2 COMPONENTES DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO

Um sistema fotovoltaico é composto, basicamente, por um painel ou um conjunto de painéis fotovoltaicos, um controlador de carga, uma bateria ou banco de baterias e, conforme a aplicação, um inversor de tensão contínua para tensão alternada (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

A Figura 2 apresenta um diagrama de um sistema fotovoltaico básico, composto pelos elementos citados anteriormente. O painel fotovoltaico tem a função de converter a energia solar em energia elétrica, em corrente contínua. Seu modelo e especificações serão apresentadas posteriormente.

O controlador de carga, obrigatório em sistemas que contém baterias, é o elemento responsável pelo acoplamento do painel fotovoltaico com a carga conectada nele que são, nesse caso, as baterias, e são responsáveis, segundo Villalva e Gazoli (2012), pelas funções de gerenciamento da carga das baterias – que contemplam as funções de carregamento pesado, estágio de absorção e estágio de flutuação da bateria, e proteção contra sobrecarga dos painéis.

Figura 2 - Sistema Fotovoltaico básico.



Fonte: (REENERGY SOLAR, 2015)

Os controladores de carga atualmente disponíveis no mercado utilizam a técnica de rastreamento do ponto de máxima potência do painel fotovoltaico, chamado de *Maximum Power Point Tracking* – MPPT, que objetiva maximizar a eficiência dos painéis fotovoltaicos, fazendo com que eles trabalhem sempre no ponto de máxima potência possível, independente das condições de radiação solar ou de temperatura de trabalho, que afetam diretamente a energia disponibilizada por eles. Como esse trabalho se baseia nessa técnica, ela será abordada com maior detalhamento no Capítulo 3.

1.3 INSTRUMENTAÇÃO VIRTUAL E O *SOFTWARE* NI LABVIEW

Para National Instruments (2010), um instrumento virtual consiste de um computador industrial ou estação de trabalho equipado com um poderoso *software* aplicativo, *hardware* com custo otimizado, como placas *plug-in* e *drivers*, que juntos desempenhem as funções dos instrumentos tradicionais. Com instrumentos virtuais, pode-se construir sistemas de medição que se adequam exatamente as necessidades, definidas pelo usuário, e não ficam limitados pelas funções fixas dos instrumentos tradicionais, anteriormente definido pelo fabricante.

A principal vantagem da aplicação de instrumentos virtuais é o fato dessas aplicações serem flexíveis. Essa flexibilidade é possível graças aos recursos disponíveis em aplicações com PC. Instrumentos tradicionais possuem funções definidas pelos fabricantes, são caros,

geralmente não são portáteis, como um osciloscópio por exemplo, e não possuem uma flexibilidade interessante. A utilização de instrumentos virtuais em *notebooks*, por exemplo, torna a aplicação desses instrumentos bastante portátil, pois basta fazer uso de um *software* adicionado de algum *hardware*, para aquisição de dados, e pode-se capturar esses dados em campo e processá-los a fim de monitorar processos, tudo isso sem contar que correções podem ser feitas nesse processo através do próprio sistema, desde que o *software* esteja devidamente parametrizado para isso.

Existe atualmente uma forte tendência ao uso de sistemas computadorizados na solução dos problemas de medição. Os equipamentos tradicionalmente utilizados em bancadas têm aplicações restritas a algumas atividades de laboratório e às de manutenção. Entretanto, em problemas associados às aplicações industriais e projeto de grandes sistemas de medição a solução preferida tem sido o emprego de sistemas de aquisição de dados comandados por computador.

Um dos maiores problemas para a introdução da aquisição de dados por sistemas computadorizados era o elevado nível de conhecimentos necessários à programação de rotinas de aquisição desses dados. A introdução de uma linguagem gráfica de programação em ambiente intuitivo, reduziu drasticamente o nível de conhecimento de *hardware* e *software* necessários para o desenvolvimento de aplicações nessas aquisições.

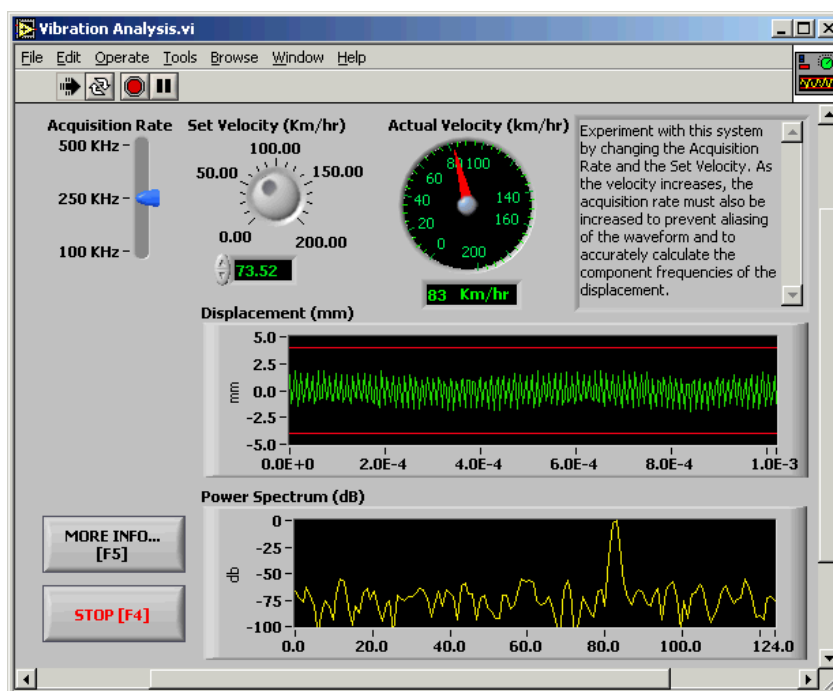
Esse conceito, chamado então Instrumentação Virtual, foi introduzido em 1990 por uma empresa que desenvolvia programas para aquisição de dados, através de um ambiente de programação denominado LabVIEW®. A proposta da instrumentação virtual é permitir a programação de aplicativos para instrumentação e controle com um mínimo de conhecimento de linguagens formais de programação, utilizando para tanto um conjunto de instruções totalmente baseado em sinais gráficos (ícones), de fácil familiarização para profissionais (RODRIGUES, 2001, p. 2).

O LabVIEW da *National Instruments* é um *software* para a criação de programas chamados de Instrumentos Virtuais, ou IV, que são chamados assim por possuírem aparência e operação que imitam instrumentos físicos, como osciloscópios e multímetros. O LabVIEW contém uma série de ferramentas para aquisição, análise, monitoramento e armazenamento de dados, que são programadas através de diagrama de blocos.

No LabVIEW construímos a interface de usuário, em um painel frontal, com controles e indicadores, como *knobs*, *push bottons*, gráficos, LED, entre outros.

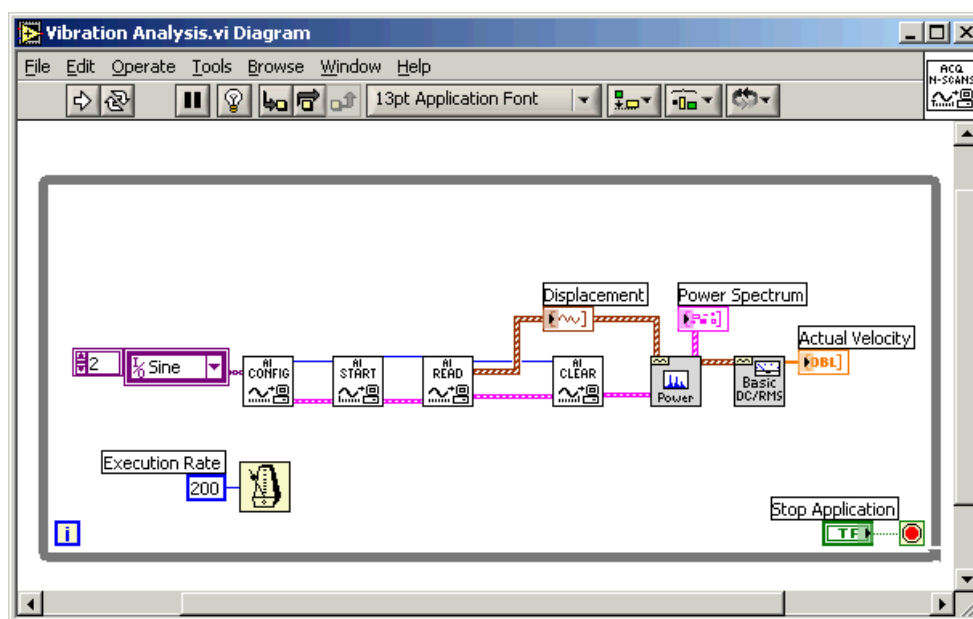
Usando o LabVIEW pode-se fazer a comunicação com *hardwares* externos para aquisição, monitoramento e controle externo de processos. As Figuras 3 e 4 demonstram o exemplo de um instrumento virtual para fazer a análise de vibração de algum sistema, com seu painel frontal de interface com o usuário e sua programação em blocos no LabVIEW.

Figura 3 - Painel frontal de interface com o usuário em LabVIEW para análise de vibração.



Fonte: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2010).

Figura 4 – Diagrama de blocos de um instrumento virtual para análise de vibração no LabVIEW.



Fonte: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2010).

1.4 OBJETIVOS DO TRABALHO

O trabalho proposto possui três objetivos gerais. A saber:

- Estudar o funcionamento dos sistemas fotovoltaicos autônomos;
- Conhecer as técnicas de rastreamento de máxima potência atualmente utilizadas a fim de selecionar a mais adequada para a aplicação proposta; e
- Desenvolver conhecimento relativo ao uso de instrumentos virtuais no LabVIEW e suas ferramentas de processamento dos sinais adquiridos.

Como objetivos específicos, o trabalho proposto possui quatro. São eles:

- Implementar o algoritmo MPPT selecionado no *software* LabVIEW;
- Realizar a aquisição e envio de dados através da placa NI MyDAQ;
- Construir uma interface para a aplicação proposta para exposição dos dados adquiridos; e
- Construir uma interface em versão *mobile* para a aplicação, visando acesso e controle remoto dos dados.

1.5 PLANO DE TRABALHO

O trabalho foi dividido da seguinte forma:

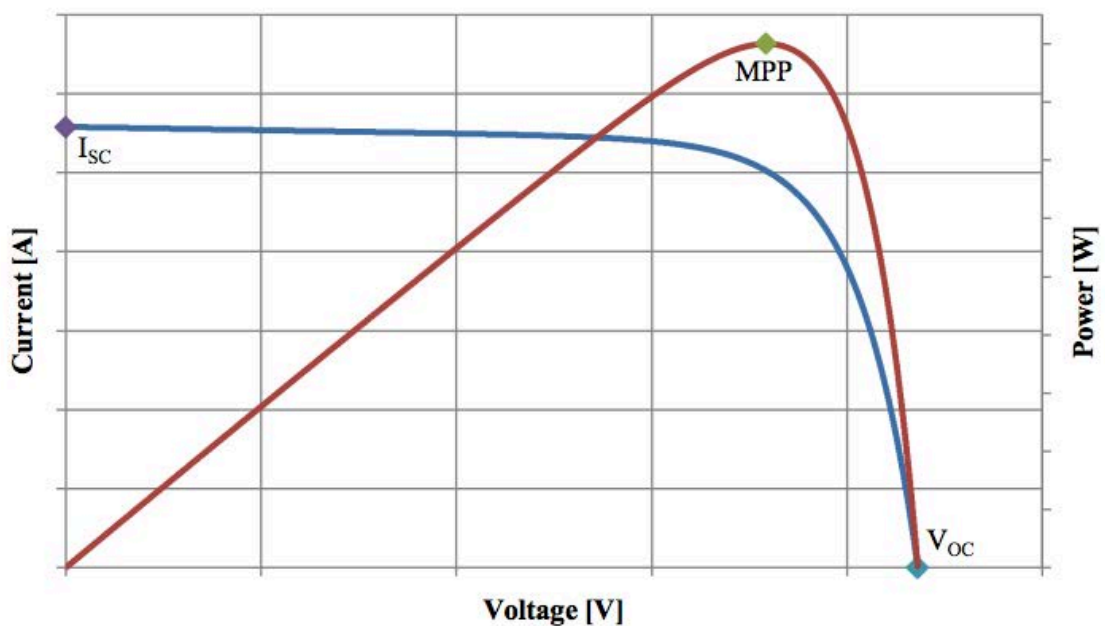
- Capítulo 1: introdução e principais conceitos envolvidos;
- Capítulo 2: apresentação do painel fotovoltaico e suas principais características, como modelos elétrico e matemático e a influência das condições ambientais em sua geração de energia;
- Capítulo 3: desenvolvimento do princípio geral da técnica de rastreamento do ponto de máxima potência, com aprofundamento no algoritmo de uma das possíveis implementações desenvolvidas, denominada Condutância Incremental;
- Capítulo 4: apresentação implementação a aplicação proposta, demonstrando os equipamentos e sensores utilizados, lógica implementada e interface gráfica – da estação de trabalho e *mobile*, desenvolvidas para a aplicação;
- Capítulo 5: conclusões do trabalho e propostas para trabalhos futuros.

2 PAINEL FOTOVOLTAICO: PARÂMETROS, MODELO E INFLUÊNCIA DE RADIAÇÃO SOLAR E TEMPERATURA

Um painel fotovoltaico nada mais é que um conjunto de células fotovoltaica arranjadas de forma a converter a energia solar incidida sobre elas em energia elétrica. Cada célula consegue fornecer um potencial elétrico de aproximadamente 0,6 [V] logo, para produzir diversos valores de tensão de saída os fabricantes conectam várias células em série, onde, tipicamente, um módulo tem 36, 54 ou 60 células, dependendo de sua potência (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Como existe limitação na geração de energia, por parte do efeito fotovoltaico, um painel não se comporta como uma fonte elétrica convencional, não apresentando tensão de saída constante em seus terminais. A Figura 5 apresenta um gráfico onde são apresentadas curvas das três grandezas elétricas de um painel fotovoltaico: tensão, corrente e potência:

Figura 5 - Curvas de corrente (azul) e potência (vermelha) em função da tensão de saída de um painel fotovoltaico.



Fonte: Adaptado (MORALES, 2010).

Pode-se observar que a corrente de saída do painel diminui depois de um certo valor de tensão de saída, não se mantendo constante, ou seja, quanto maior a corrente exigida do painel, menor será a sua tensão de saída. E, como a corrente de saída depende da carga conectada neste painel, se for conectada uma carga com alto consumo de corrente, a tensão de

saída do painel tenderá a cair e, no caso contrário, tenderá a tensão de circuito aberto ou sua tensão máxima.

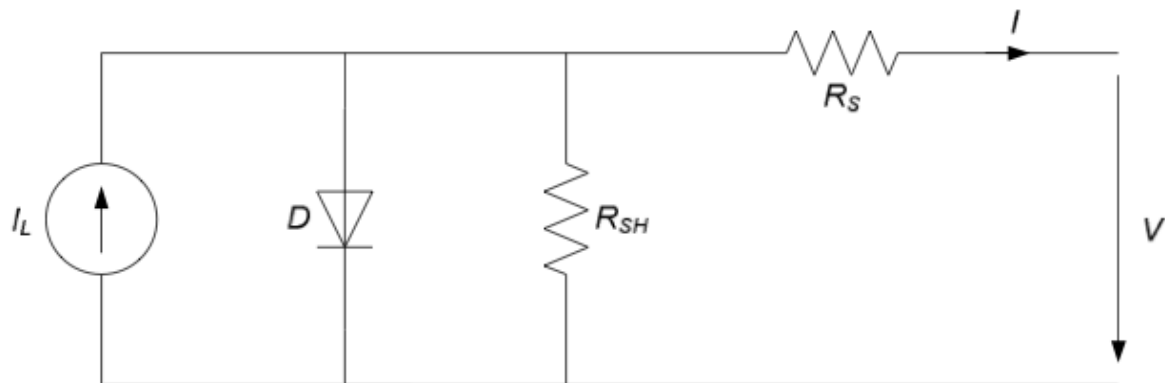
Além disso, pode-se observar que a curva de potência possui um ponto máximo, denominado MPP – *Maximum Power Point*. Esse é o ponto de operação, tensão e corrente, em que a célula consegue fornecer a maior quantidade de energia gerada, ou seja, é seu ponto de máxima transferência de potência para a carga.

Outros dois pontos podem ser observados: I_{SC} que representa o valor de corrente de curto-circuito do painel e V_{OC} que representa a tensão de saída com o circuito aberto. Essas são duas dos diversos parâmetros que um painel fotovoltaico possui e que são apresentados pelos fabricantes em seus catálogos.

2.1 MODELO ELÉTRICO E MATEMÁTICO

Segundo Morales (2010) e Carrijo et al. (2010), o circuito elétrico que representa o modelo de um painel fotovoltaico é apresentado na Figura 6:

Figura 6 - Modelo elétrico de um painel fotovoltaico.



Fonte: (MORALES, 2010).

Sendo composto por:

- I_L – fonte de corrente: representa a corrente de curto-circuito da célula, sendo proporcional à intensidade luminosa;
- D – diodo em paralelo: representando a corrente da junção PN da célula;
- R_S – resistência em série: representando as perdas por contato e condução;

- R_{SH} – resistência em paralelo: representando as perdas devido às correntes de fuga.

A equação (1) apresenta o modelo matemático de uma célula fotovoltaica, considerando radiação solar constante, também segundo Morales (2010) e Corrijo et al. (2010):

$$I = I_L - I_0 \left[e^{\frac{q(V+I.R_S)}{nKT}} - 1 \right] - \frac{V - I.R_S}{R_{SH}} \quad (1)$$

Onde:

- I_0 é a corrente de saturação do diodo;
- q é a carga elementar do elétron: $1,6 \cdot 10^{-19}$ [C];
- k é a constante de Boltzmann: $1,38 \cdot 10^{-23}$ [J/K];
- T é a temperatura da célula em Kelvin;
- n é a constante de idealidade do diodo: usualmente 1,5.

2.2 INFLUÊNCIA DA RADIAÇÃO SOLAR

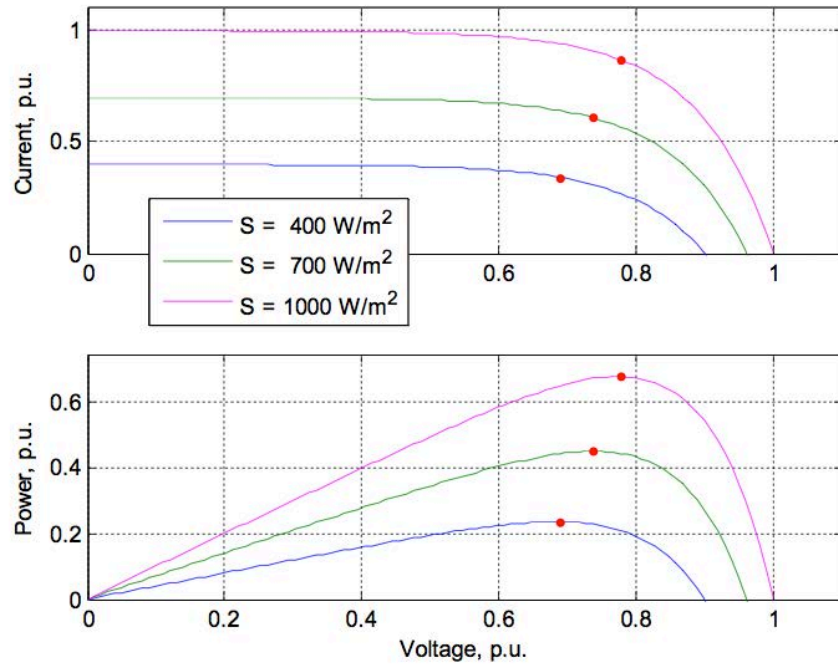
A corrente elétrica que o painel fotovoltaico pode fornecer depende diretamente da intensidade da radiação solar que incide sobre suas células (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

O efeito da intensidade da radiação solar incidente na produção de energia do painel é apresentada na Figura 7, onde foram apresentados dois gráficos, um para a curva $I \times V$ e outra para a curva $P \times V$ para três valores de intensidade de radiação solar. Além disso, foram utilizados os valores *por unidade* – p.u., para que a ordem de grandeza dos valores fossem verificados, sendo utilizados como valores de base os valores de corrente de curto-circuito e de tensão em circuito aberto.

2.3 INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DO PAINEL

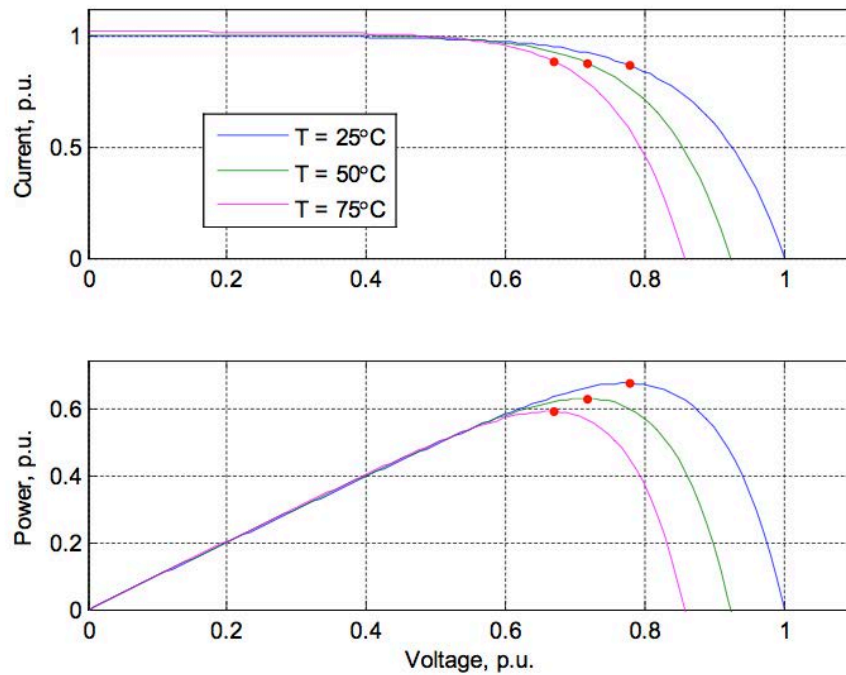
Da mesma forma que a intensidade de radiação solar, a temperatura de operação do painel também influencia sua tensão de saída. A Figura 8 apresenta dois gráficos, assim como na Figura 7, em p.u., para três valores de temperatura de operação do painel fotovoltaico, para uma radiação solar constante de $1 \text{ [kW/m}^2\text{]}$.

Figura 7 - Curvas IxV e PxV para temperatura constante (25 [°C]) para três valores de intensidade de radiação solar diferentes.



Fonte: (MORALES, 2010).

Figura 8 - Curvas IxV e PxV para radiação solar constante de 1 [kW/m²] para três valores de temperatura.



Fonte: (MORALES, 2010).

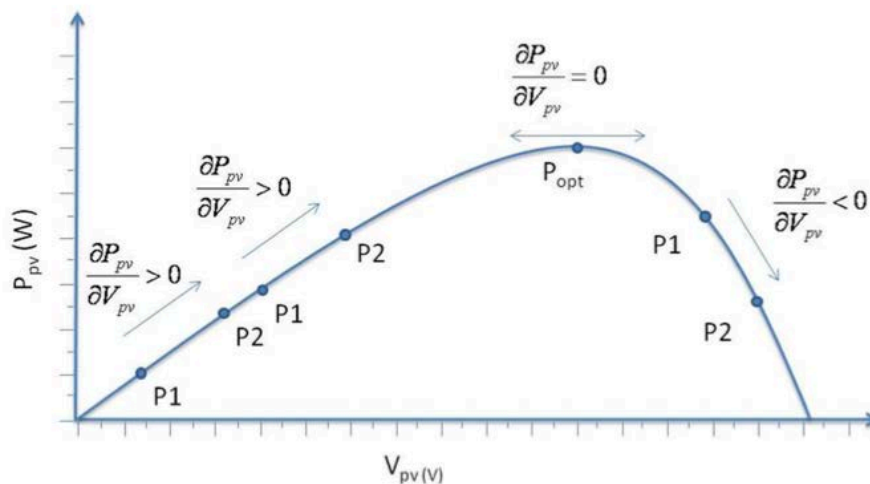
3 RASTREAMENTO DO PONTO DE MÁXIMA POTÊNCIA – MPPT

Como citado no Capítulo 1, o rastreamento do ponto de máxima potência, denominado MPPT, é uma parte integrante dos controladores de carga do sistema fotovoltaico, pois possuem a função de garantir que os painéis operem em seu ponto de máxima potência, mesmo que sofram intermitências na geração, devido a mudança de intensidade de radiação solar, temperatura ou mudança de carga.

Maximum Power Point Trackers, MPPTs, são seguidores do ponto de potência máxima e que desempenham um papel importante nos sistemas fotovoltaicos, por maximizar a potência de um sistema para um determinado conjunto de condições e, portanto, maximizar a eficiência do sistema global. Assim, um algoritmo MPPT pode minimizar o custo global do sistema. Muitos algoritmos têm sido propostos e muitos são empregues em soluções de mercado, podendo-se obter com um MPPT eficiências acima de 97% (CARVALO, 2011, p. 14).

A Figura 9 ilustra o processo de rastreio do ponto de máxima potência:

Figura 9 - Ilustração do rastreio do ponto de máxima transferência de potência.



Fonte: (YOUSSEF et al., 2010).

Como pode ser observado na Figura 9, o ponto de máxima potência – pico da curva $P \times V$ apresentada, é o ponto onde a derivada da potência em função da tensão do sistema é igual a zero, equação (2):

$$\frac{dP}{dV} = 0 \quad (2)$$

Os algoritmos dos controladores buscam intensificar ou atenuar, através dos conversores de tensão que acoplam o painel e a carga, a tensão fornecida pelo painel à carga, para que o ponto de trabalho da potência do sistema seja deslocado até o ponto de máxima potência.

Na prática, os incrementos ou decrementos de tensão são muito pequenos, então se considera que o ponto de máxima potência foi atingido quando o algoritmo encontra uma situação de estabilidade e as mudanças acontecem em torno do pico de potência do painel (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Segundo Carvalho (2011), um possível método para se determinar a eficiência de um algoritmo MPPT é mostrado na equação (3):

$$\eta_{MPPT} = \frac{\int_0^t P_{atual}(t)dt}{\int_0^t P_{max}(t)dt} \quad (3)$$

onde P_{atual} é a medida real da potência produzida pelo sistema fotovoltaico sob o controle do MPPT e P_{max} é a potência máxima real do painel que pode produzir numa dada temperatura e intensidade da radiação solar.

Existem diversos algoritmos MPPT utilizados em sistemas fotovoltaicos, entre os quais se destacam quatro, que são os mais usados:

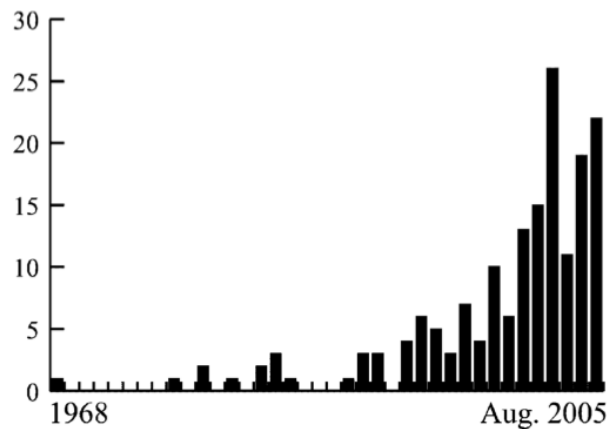
- Perturbar e Observar – P&O;
- Condutância Incremental – CI;
- Capacidade Parasita – CP;
- Método da Tensão Constante – VC.

A Tabela 2 apresenta um comparativo entre os quatro métodos citados, valendo a pena ressaltar que existem diversos métodos de MPPT disponíveis e que, além disso, o desenvolvimento de novos algoritmos e o aprimoramento dos existentes tem se intensificado. Pode-se observar, através da Figura 10, que o número de artigos científicos produzidos por ano, que tratam de MPPT tem aumentado significativamente, desde os primórdios das observações, na década de 60 até o início dos anos 2000.

Tabela 2 - Comparativo entre as principais características dos principais métodos MPPT.

Técnica	Dependência do painel	Tipo de implementação	Velocidade	Complexidade	Sensores necessários	Precisão
P&O	Não	Analógico Digital	Variado	Baixa	Tensão Corrente	Média
CI	Não	Digital	Variado	Média	Tensão Corrente	Alto
CP	Não	Analógico Digital	Média	Alta	Tensão Corrente	Muito Alto
VC	Sim	Digital	Média	Baixa	Tensão	Baixo

Fonte: Adaptado (BHATNAGAR; NEMA, 2013).

Figura 10 - Número de artigos científicos que abordam MPPT por ano.

Fonte: (ESRAM; CHAPMAN, 2007).

A escolha do método a ser utilizado na implementação do *software* foi baseada na facilidade de implementação digital utilizando a programação em blocos, utilizada na implementação de aplicações no LabVIEW e, sendo assim, optou-se pelo algoritmo MPPT Condutância Incremental pois, de acordo com a Tabela 2, possui alta precisão para uma complexidade média de implementação.

3.1 MPPT CONDUTÂNCIA INCREMENTAL

Mantendo-se o princípio de que a derivada da potência em função da tensão do painel é igual a zero no ponto de máxima potência, equação (2), pode-se obter, segundo ESRAM e Chapman (2007), o ponto de máxima potência do sistema baseando-se no seguinte princípio, apresentado na equação (4):

$$\begin{cases} \frac{dP}{dV} = 0 \rightarrow \text{ponto de máxima potência} - \text{MPP} \\ \frac{dP}{dV} > 0 \rightarrow \text{à esquerda do MPP} \\ \frac{dP}{dV} < 0 \rightarrow \text{à direita do MPP} \end{cases} \quad (4)$$

Podemos ainda rescrever a equação (2):

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(VI)}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} \cong I + V \frac{\Delta I}{\Delta V} \quad (5)$$

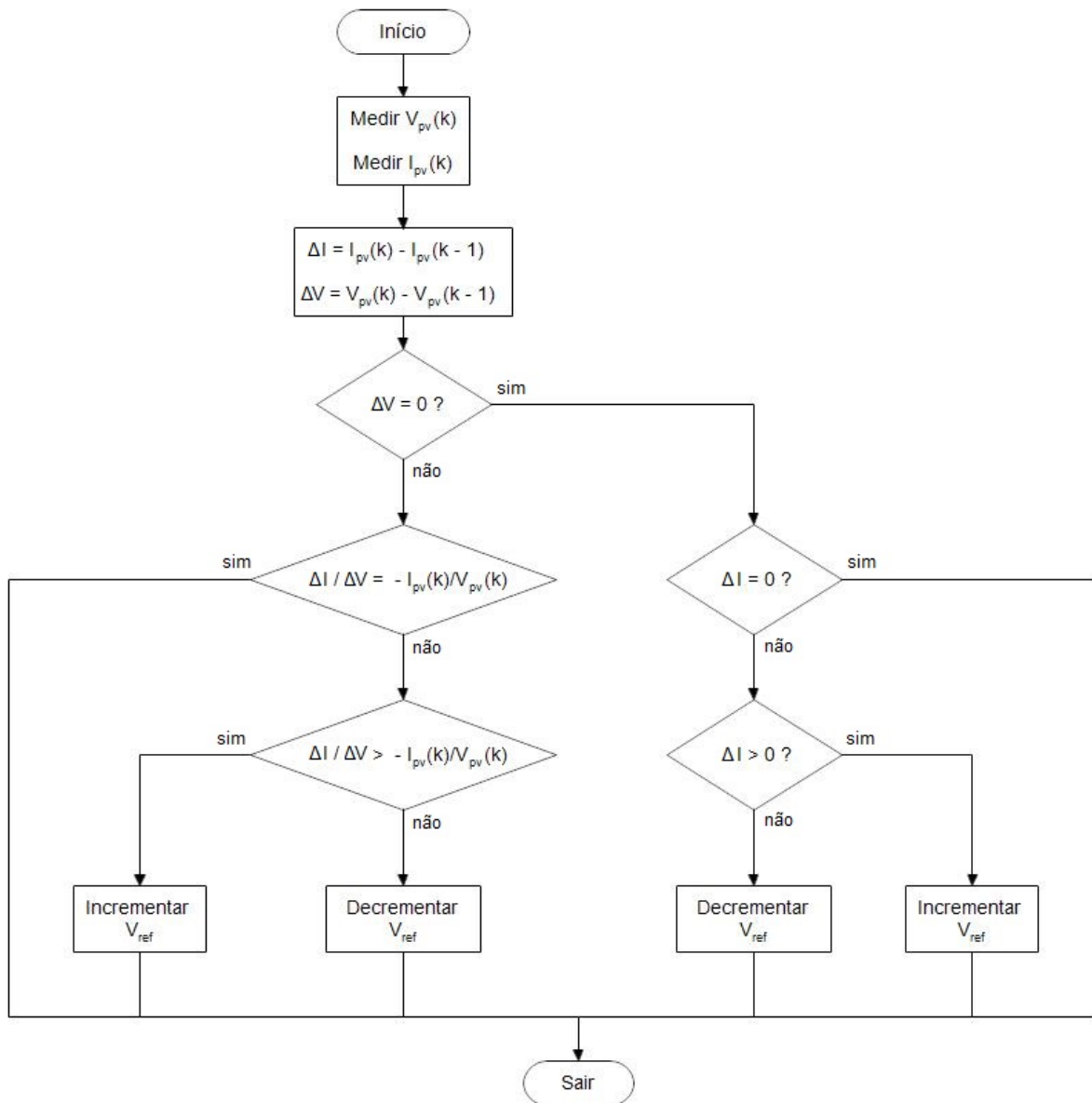
E, sendo assim, a equação (4) pode ser também reescrita como:

$$\begin{cases} \frac{\Delta I}{\Delta V} = -\frac{I}{V} \rightarrow \text{ponto de máxima potência} - \text{MPP} \\ \frac{\Delta I}{\Delta V} > -\frac{I}{V} \rightarrow \text{à esquerda do MPP} \\ \frac{\Delta I}{\Delta V} < -\frac{I}{V} \rightarrow \text{à direita do MPP} \end{cases} \quad (6)$$

A partir da equação (6), pode-se determinar um algoritmo, onde são sensoriados a corrente e tensão do painel em dois instantes de tempo distintos, (k-1) e (k), é calculado a relação instantânea entre a corrente e a tensão e é feita a comparação do ponto de operação em relação ao ponto de máxima potência para, a partir disso, determinar se a tensão do painel deverá ser incrementada ou decrementada, através do controlador de carga, para que o ponto de trabalho seja deslocado até o MPP.

A Figura 11 apresenta o algoritmo a ser utilizado nessa técnica, onde pode-se observar que a corrente do painel fotovoltaico é incrementada ou decrementada de acordo com as decisões tomadas durante o desenvolvimento do algoritmo. Essa operação ocorre a partir do incremento ou decremento da tensão de saída dos controladores de carga, que possuem reguladores chaveados – conversores DC-DC, normalmente do tipo *Buck-Boost*, que podem fornecer tensões de saída com valores superiores ou inferiores ao valor de entrada no conversor.

Figura 11 - Algoritmo MPPT Condutância Incremental.



Fonte: Adaptado (ETAWIL; ZHAO, 2013).

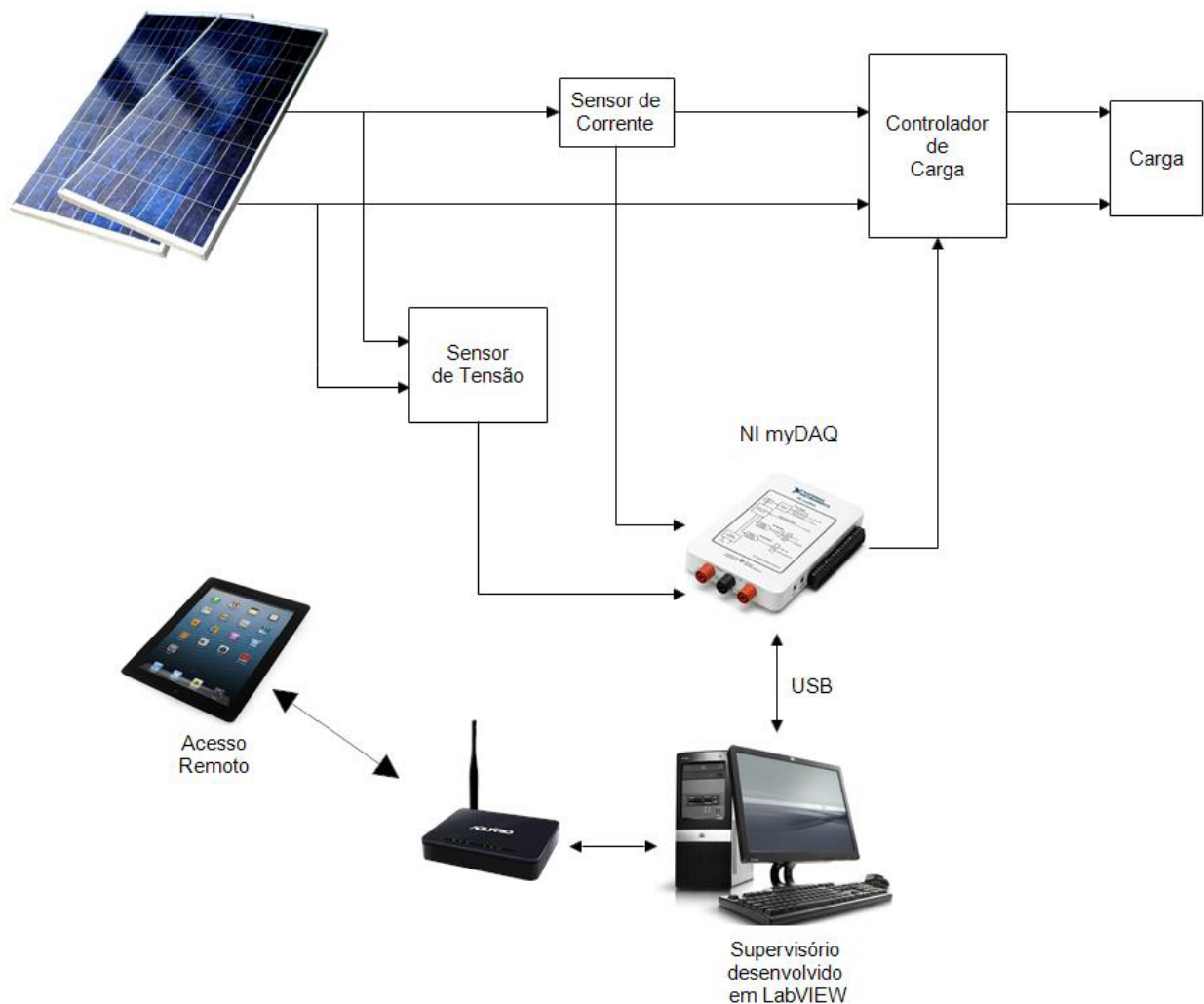
4 MÓDULO IMPLEMENTADO

O módulo proposto, baseado na plataforma NI LabVIEW, executa o monitoramento dos valores de tensão e corrente do painel fotovoltaico e, aplicando o algoritmo MPPT Condutância Incremental, determina se a tensão do painel, aplicada à carga, necessita ser incrementada ou decrementada.

A partir disso, o sistema atua em um sinal modulado pela largura de pulso, PWM – *Pulse Width Modulation*, que deverá ser enviado ao conversor DC-DC do acoplamento entre o painel e a carga, buscando o MPP do painel, independente das condições ambientais ou de operação do sistema, segundo foi descrito nas seções anteriores.

A Figura 12 apresenta um diagrama de blocos geral com as principais características do sistema proposto:

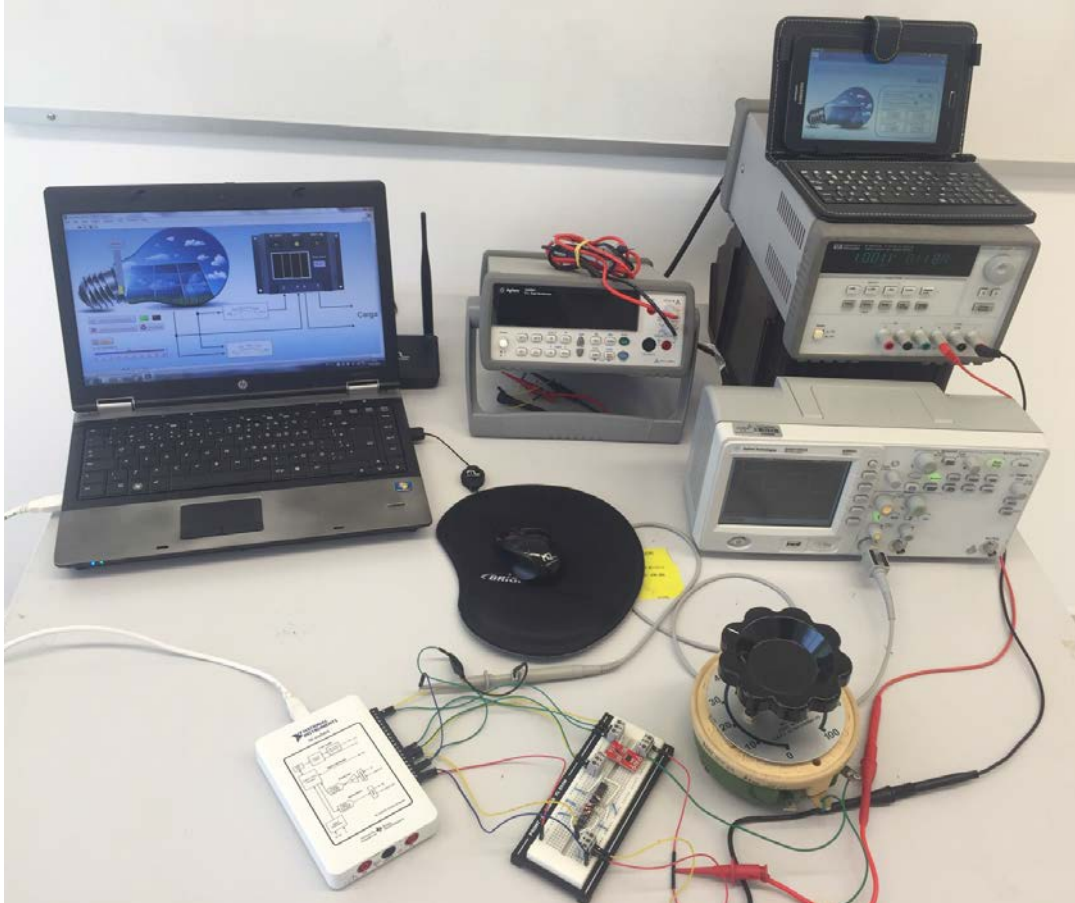
Figura 12 - Diagrama de blocos geral do sistema proposto.



Fonte: autoria própria.

A Figura 13 apresenta o sistema implantado para realização dos testes de funcionamento do trabalho proposto, com custo estimado em R\$4.200,00, considerando apenas a placa de aquisição de dados e os componentes eletrônicos para a medição.

Figura 13 – Bancada de testes implantada para o sistema proposto.



Fonte: autoria própria.

Nas próximas sub-seções serão fornecidas das descrições dos elementos do sistema proposto.

4.1 PLACA DE AQUISIÇÃO NI MYDAQ

Para aquisição dos dados necessários, foi utilizada a plataforma de aquisição de dados via USB da *National Instruments*, MyDAQ, apresentada na Figura 14.

A plataforma inclui um sistema de aquisição de dados que podem ser usados para medir dois canais diferenciais de entradas analógicas e saídas analógicas – com 200 [kS/s], 16 bits, ± 10 [V]; oito bits de entrada ou saída digital – compatíveis com TTL de 3,3 [V] e 5 [V].

Para maior detalhamento do *hardware* interno da placa de aquisição NI MyDAQ, consultar manual do fabricante.

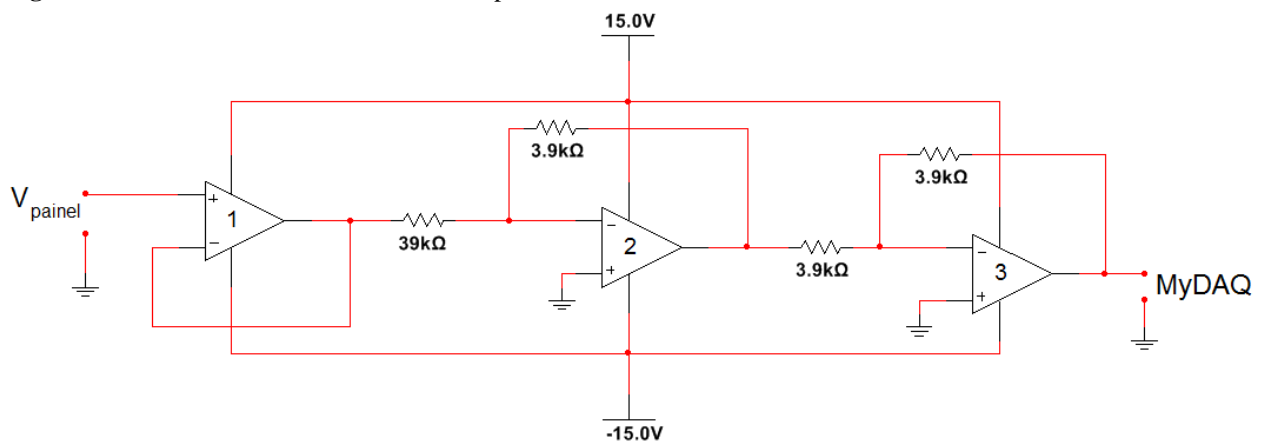
4.2 SENSORES DE TENSÃO E CORRENTE

Foram utilizados dois sensores para aquisição dos dados necessários: um sensor de tensão e um de corrente, conforme indicado na Tabela 2, que expõe que para a implementação do algoritmo MPPT Condutância Incremental, faz-se necessária a aquisição dos valores dessas duas grandezas do painel.

4.2.1 Sensor de Tensão – Amostrador

O sensor de tensão nada mais é que um amostrador de 10% da tensão de saída do painel, devidas limitações de entrada dos sinais analógicos da placa de aquisição, que podem receber sinais com amplitude máxima de 10 [V]. Esse amostrador, é um circuito analógico utilizando amplificadores operacionais, conforme é apresentado na Figura 16.

Figura 16 - Circuito amostrador de tensão implementado.



Fonte: autoria própria.

É possível verificar que a tensão de entrada do amostrador é isolada, por meio do amplificador operacional 1, que atua na configuração de *buffer*, para que ele não interfira na tensão de saída do painel e aja também como uma carga no sistema.

O amplificador operacional 2 tem a função de atenuar a tensão de entrada em dez vezes, que pode ser comprovado com o uso da equação (7):

$$v_{O2} = -v_i \cdot \left[\frac{R_f}{R_i} \right] \quad (7)$$

Onde:

- V_i – tensão de entrada;
- R_f – resistor de realimentação;
- R_i – resistor de entrada do amplificador.

Como $R_f = 39 \text{ [k}\Omega\text{]}$ e $R_i = 3,9 \text{ [k}\Omega\text{]}$, temos que a saída será um décimo da tensão de entrada, com polaridade do sinal invertida.

O amplificador operacional 3 possui a função de tornar a saída novamente positiva, já que a configuração utilizada no amplificador 2 resulta em um sinal com polaridade invertida em relação ao sinal de entrada, utilizando dois resistores de mesmo valor.

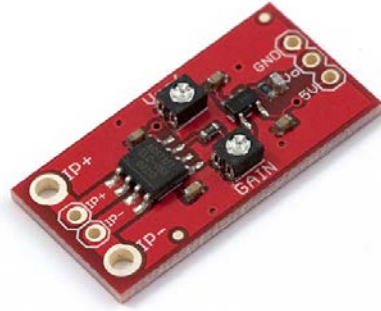
4.2.2 Sensor de Corrente

Para sensoriar a corrente foi utilizado um *hardware* da SparkFun, que possui um sensor que mede a corrente elétrica a partir do efeito Hall, ou seja, que gera um potencial elétrico a partir do campo magnético gerado pela corrente elétrica que flui pelos terminais do sensor, utilizando o circuito integrado ACS712.

O sensor pode ser utilizado para realizar medições de correntes DC ou AC, com amplitudes máximas de 5 [A]. Para que possa ser realizada a medição de correntes com ordem de grandeza menores, foi adicionado na um circuito de ajuste de ganho do sensor, para ajustes de sensibilidade, por meio de um amplificador operacional. A Figura 17 a imagem do sensor utilizado e a Figura 18 seu diagrama esquemático.

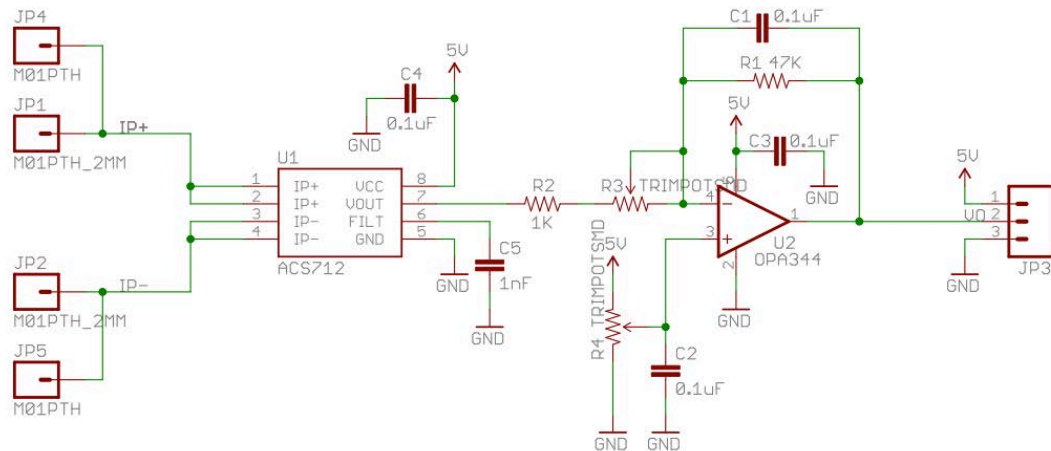
A Figura 19 apresenta o diagrama de blocos funcional do circuito integrado presente no *hardware* utilizado, em que podem ser observadas suas características principais. Para maiores detalhes do funcionamento do sensor, consultar manual do fabricante.

Figura 17 – Imagem da placa ACS712 utilizada para medição de corrente.



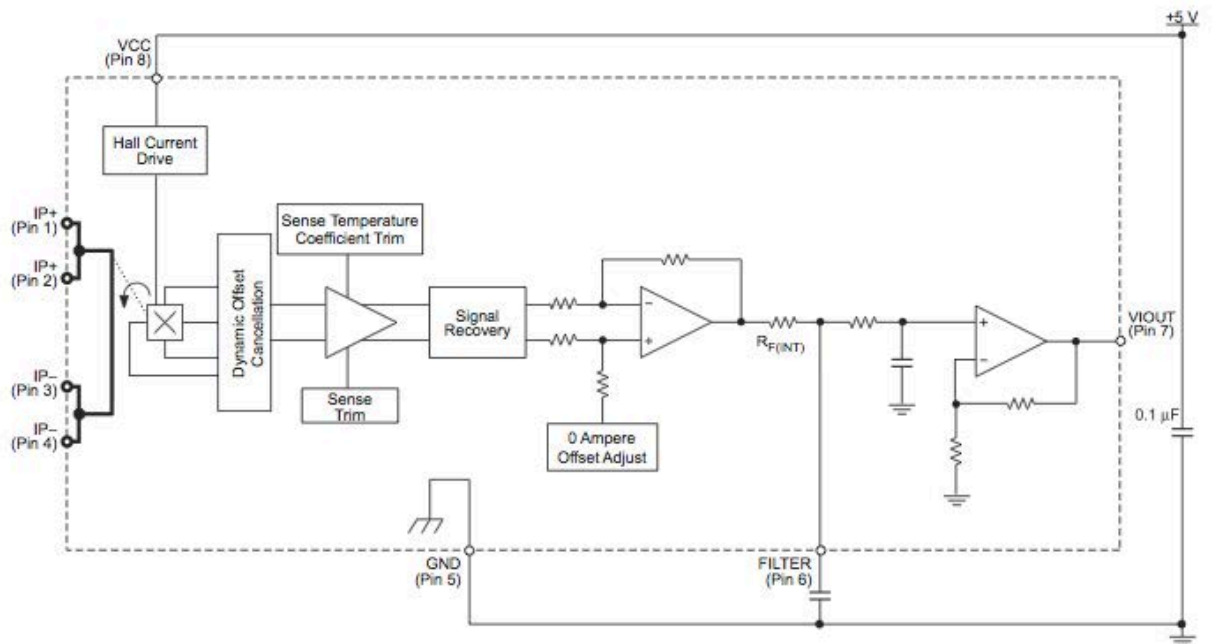
Fonte: (SPARKFUN, 2015).

Figura 18 - Diagrama esquemático do sensor de corrente ACS712 da SparkFun.



Fonte: (SPARKFUN, 2015).

Figura 19 - Diagrama de blocos funcional do circuito integrado ACS712.



Fonte: (SPARKFUN, 2015).

O ACS712 gera uma tensão analógica de saída que varia linearmente com a corrente detectada. Para realizar o ajuste do sensor, deve-se, inicialmente, definir a saída de referência, ou seja, com corrente zero, ajustar a saída de tensão do sensor através dos potenciômetros de ajuste. Em seguida, com um valor de corrente conhecido – recomendado 100 [mA], definir a saída de tensão com o ganho ajustado. A sensibilidade do sensor será calculada pela equação (7) (SPARKFUN, 2015):

$$Sensibilidade = \frac{V_{def} - V_{ref}}{I_{def}} \quad (8)$$

Onde:

- V_{ref} – tensão de referência: valor de tensão definido com corrente zero;
- V_{def} – tensão de deflexão: tensão de saída para a corrente conhecida;
- I_{def} – corrente de deflexão: corrente conhecida utilizada para ajustar o sensor.

4.3 SOFTWARE EM LABVIEW

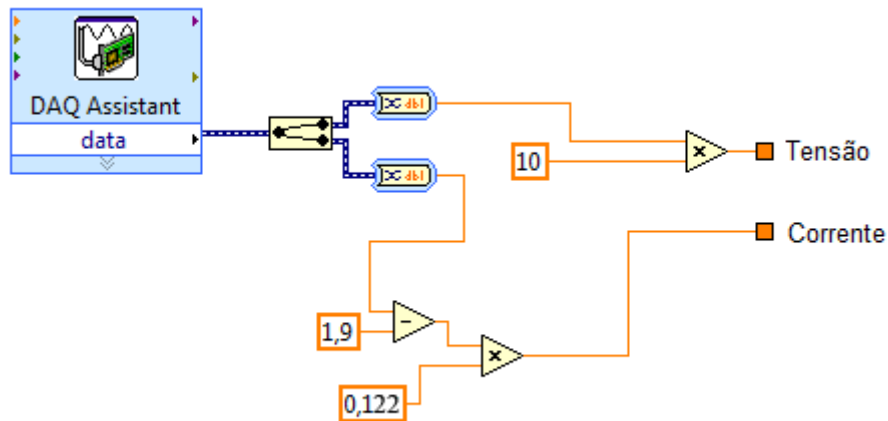
O *software* proposto, segundo já comentado, foi implementado no NI LabVIEW, dividido em duas aplicações: uma contendo todo o processamento do sistema, responsável pela aquisição dos dados e respostas do sistema, denominada supervisor e outra responsável pelo compartilhamento dos dados via rede, para acesso e controle remoto do supervisor.

4.3.1 Software Supervisor

O *software* implementado possui três partes essenciais: aquisição dos dados, lógica do algoritmo MPPT e geração do sinal PWM de controle para o controlador.

A Figura 20 apresenta a aquisição dos dados dos sensores de tensão e corrente no sistema:

Figura 20 - Aquisição dos dados dos sensores de tensão e corrente do módulo proposto.



Fonte: autoria própria.

Pode-se observar que os dois canais de aquisição dos dados são processados pelo mesmo barramento, sendo necessário utilizar a função de demultiplexação do barramento para que possam ser gerados os dois sinais separadamente.

O sinal do sensor de tensão, por ser amostrado em 10%, é multiplicado por 10 para que se possa obter o sinal real. O sinal do sensor de corrente também precisa ser condicionado para ser enviado e processado no sistema. Inicialmente foi feito um ajuste inicial utilizando como tensão de referência 1,90 [V] para uma corrente igual à zero. Para uma corrente de 100 [mA], foi obtida uma tensão de saída em torno de 2,72 [V]. Utilizando a equação (8), determinamos uma sensibilidade de:

$$Sensibilidade = \frac{2,72 - 1,9}{100 \cdot 10^{-3}} = 8,2 [mV/mA]$$

Sendo assim, reescrevendo a equação (8), temos que:

$$I_{def} = \frac{V_{def} - V_{ref}}{Sensibilidade} \quad (9)$$

Sendo V_{def} o valor de tensão do sensor, podemos reescrever (9) como:

$$I_{medida} = \frac{V_{sensor} - V_{ref}}{Sensibilidade} =$$

$$I_{medida} = (V_{sensor} - V_{ref}) \cdot \frac{1}{sensibilidade} \quad (10)$$

$$\therefore I_{medida} = (V_{sensor} - 1,9) \cdot 0,122$$

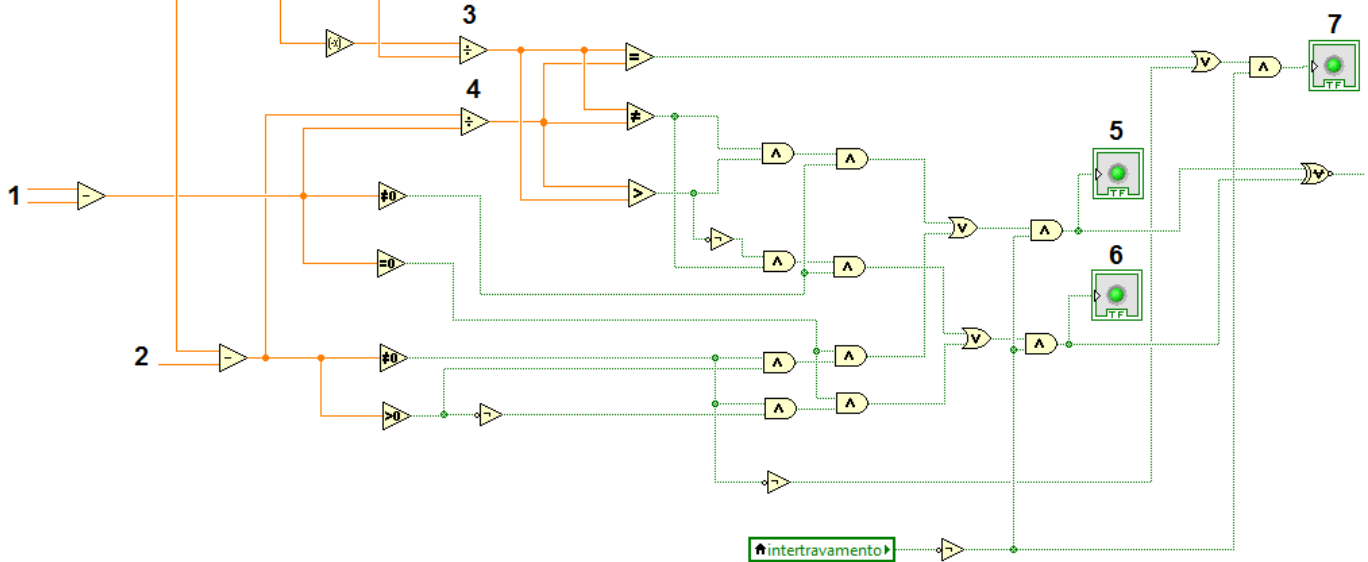
No condicionamento do sinal do sensor de corrente, na Figura 20, tem-se a implementação da equação (10) para compensação do ajuste de sensibilidade do sensor de corrente.

A lógica implementada, segundo a técnica de MPPT Condutância Incremental, é apresentada na Figura 21. Nela, numerada de 1 à 7, tem-se os principais pontos do algoritmo implementado:

- 1 – Determinação da variação da tensão, $V(k) - V(k-1)$, do painel. Para que fosse possível essa implementação, fez-se uso de *shift register* no LabVIEW, para que o dado de um *loop* executado pudesse ser utilizado em um *loop* futuro, para as iterações necessárias do algoritmo;
- 2 – Determinação da variação da corrente, $I(k) - I(k-1)$, do painel. Utilizou-se também, de modo análogo ao descrito no número 1, de *shift register* para implementação;
- 3 – Determinação da relação $-I(k)/V(k)$, utilizando os blocos de inversão de polaridade e de divisão;
- 4 – Determinação da relação $\Delta I/\Delta V$, também utilizando o bloco matemático de divisão;
- 5 – Resultado da lógica de incremento da tensão de saída do controlador. Esse resultado lógico é oriundo da combinação das saídas dos blocos de comparação das relações descritas nos números 3 e 4, segundo o algoritmo MPPT utilizando (Figura 11). Caso esse valor seja verdadeiro, o controlador incrementa o *Duty Cycle* do PWM de saída;
- 6 – Resultado da lógica de decremento da tensão de saída do controlador. Esse resultado lógico também é oriundo da combinação das saídas dos blocos de comparação descritos segundo o algoritmo. Caso esse valor seja verdadeiro, o controlador decrementa o *Duty Cycle* do PWM de saída;

- 7 – Identificação do Ponto de Máxima Potência. Quando o sistema atingir o ponto de máxima potência, essa saída será verdadeira. Nesse ponto o controlador mantém o *Duty Cycle* do PWM.

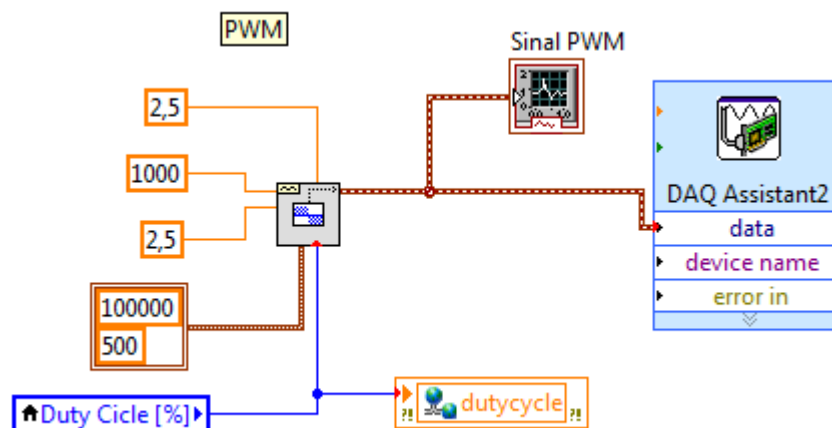
Figura 21 - Lógica do algoritmo MPPT Condutância Incremental implementado no LabVIEW.



Fonte: autoria própria.

A Figura 22 apresenta a geração do sinal PWM de saída, utilizando a função de gerador de forma de onda do LabVIEW e saída analógica da placa NI MyDAQ.

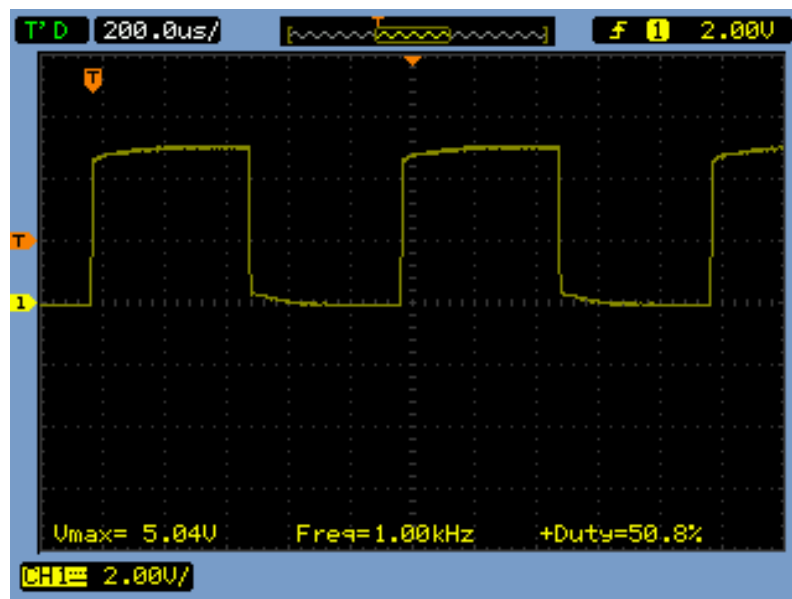
Figura 22 - Geração do sinal PWM de saída do módulo proposto.



Fonte: autoria própria.

A variável de entrada *Duty Cycle* controla o ciclo de trabalho do gerador de forma de onda que é enviado à saída. A forma de onda gerada foi parametrizada com 2,5 [V] de amplitude, com 2,5 [V] de *offset*, frequência de chaveamento de 1[kHz] e taxa de amostragem, em que são informados os valores de *samples* por segundo e *samples* por forma de onda. A Figura 23 apresenta a tela de um osciloscópio, colocado na saída analógica, para verificação da geração do sinal de saída.

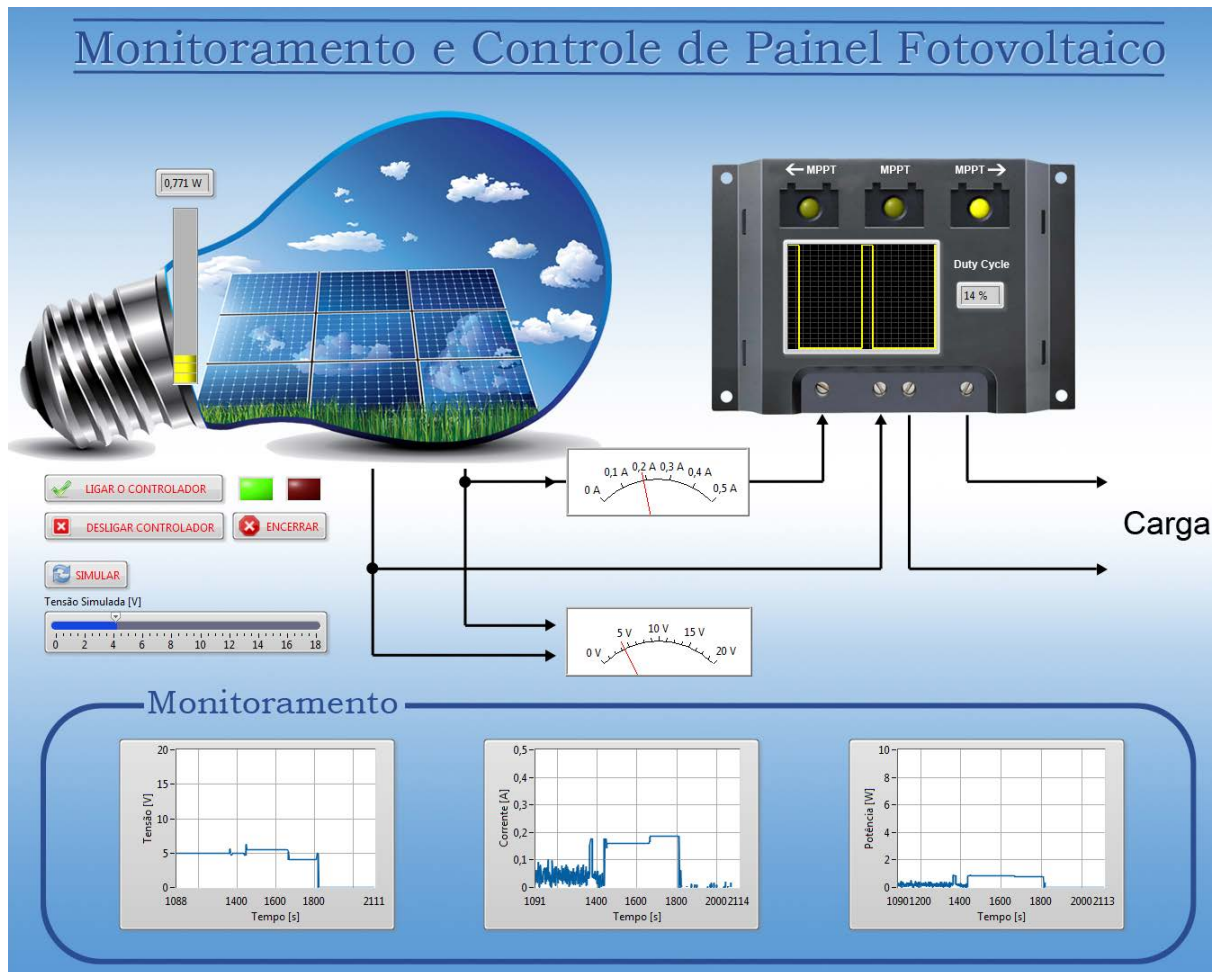
Figura 23 - Forma de onda da saída do sistema, verificada em um osciloscópio.



Fonte: autoria própria.

A interface da aplicação implementada no LabVIEW pode ser visualizada na Figura 24, onde os elementos principais do sistema podem ser visualizados, com seus valores instantâneos e seus valores armazenados e apresentados na forma de gráficos, para acompanhamento da performance das variáveis durante o tempo.

Figura 24 - Interface de usuário da aplicação implementada.



Fonte: autoria própria.

A interface gráfica apresenta um controlador de carga fictício, para ilustração, onde são indicados: localização do ponto de operação do sistema – se abaixo, acima ou no ponto de máxima potência, o *duty cycle* do sinal PWM e a forma, ilustrada, de onda do sinal de saída – a forma de onda real pode ser vista na Figura 23 com o auxílio de um osciloscópio. Além disso, apresenta os componentes com uma disposição que facilite o entendimento do fluxo de controle do sistema.

4.3.2 Software Mobile

Para o acesso remoto, foi implementada uma versão *mobile* do *software*, utilizando o aplicativo *Data Dashboard*, também desenvolvido pela *National Instruments*. Com o auxílio desse aplicativo e com a disposição de uma rede, pode-se compartilhar variáveis presentes do

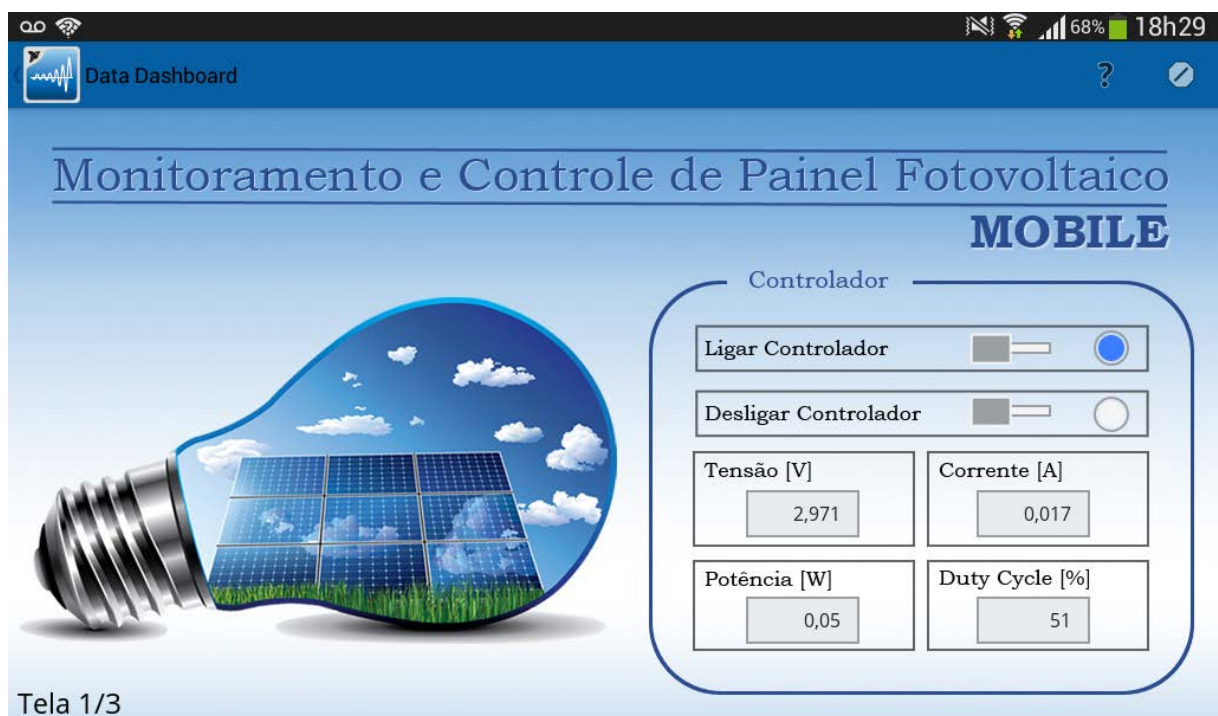
supervisório para serem indicadas no *tablet* ou ainda inserir controles de acesso remoto que interajam com variáveis no supervisório.

Para isso, foram utilizadas as denominadas *shared variables* do LabVIEW, que são variáveis especialmente criadas para executar o compartilhamento dos dados em rede e serem e acessadas pelo *Data Dashboard*.

Como implementação piloto, foi utilizada de apenas uma rede sem fio local para compartilhamento dos dados, com fins de teste dos controles e monitoramentos.

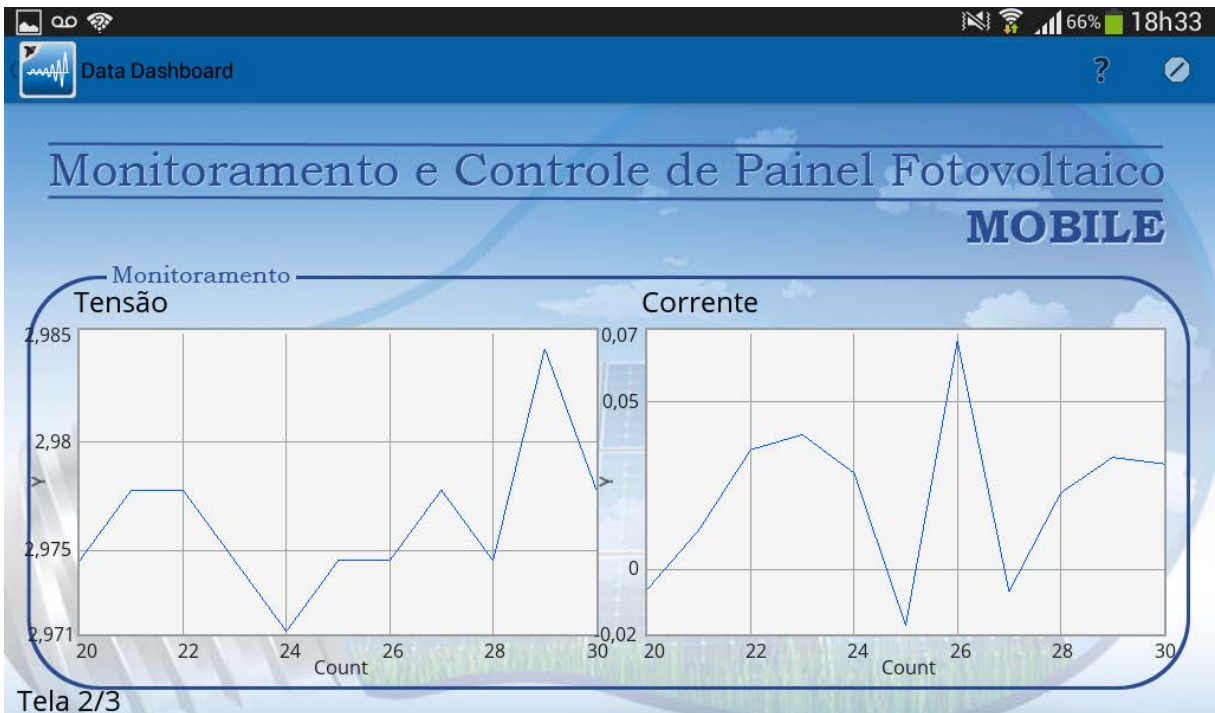
As Figuras 25, 26 e 27 apresentam as telas da versão *mobile* do controlador proposto e, pode-se verificar, por meio delas, os controles disponíveis, os indicadores dos valores instantâneos e estado do sistema e os gráficos para monitoramento do desempenho de cada uma das variáveis do sistema.

Figura 25 - Tela inicial da aplicação *mobile* do controlador proposto.



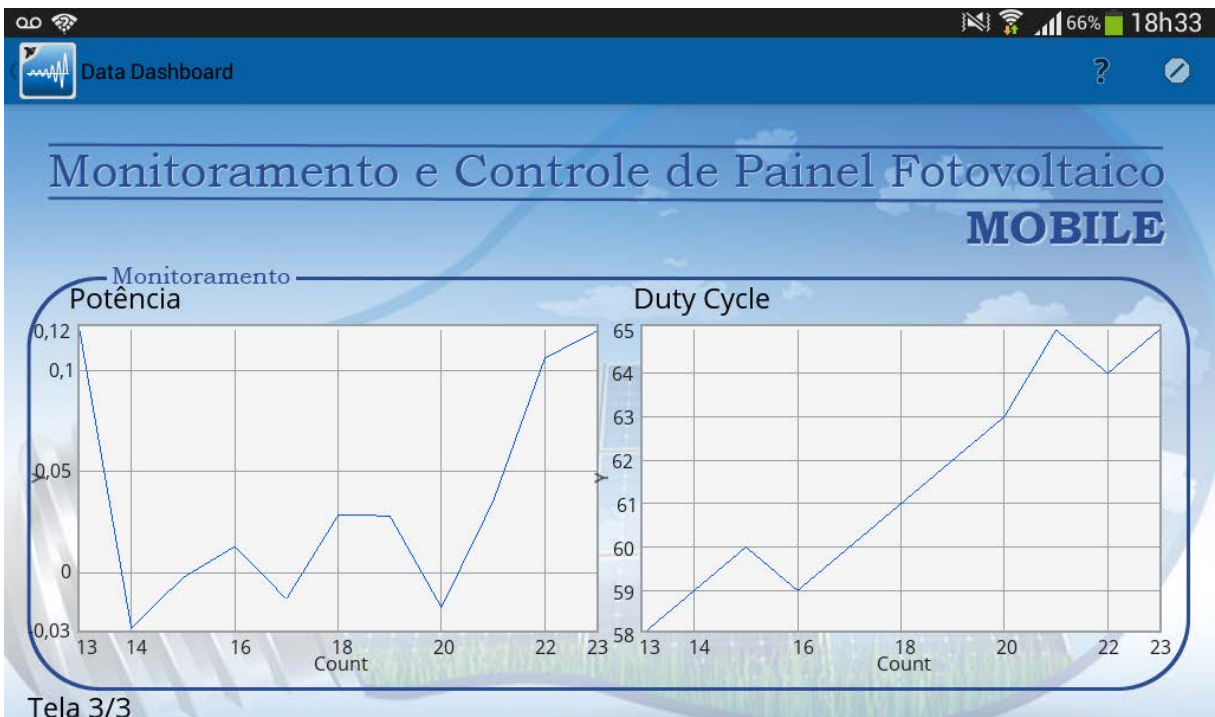
Fonte: autoria própria.

Figura 26 - Tela de monitoramento de performance da tensão e corrente do aplicativo *mobile*.



Fonte: autoria própria.

Figura 27 - Tela de monitoramento de performance da potência e do *duty cycle* da aplicação remota.



Fonte: autoria própria.

5 CONCLUSÃO

O trabalho realizado permitiu a imersão nos conhecimentos essenciais de sistemas de geração fotovoltaicos, além de proporcionar o desenvolvimento de conhecimentos relativos ao uso de ferramentas, principalmente o LabVIEW, que, como *software* de desenvolvimento de aplicações de instrumentação virtual, se tornou a principal referência dos trabalhos desenvolvidos na área acadêmica e comercial.

A implementação do algoritmo pode ser verificada com os resultados obtidos a partir do próprio LabVIEW, com todas as condições de verificação sendo satisfeitas, identificação da posição do ponto de trabalho em relação ao ponto de máxima potência e geração do sinal PWM – que também pode ser verificado através do osciloscópio, que atua no sistema a fim de corrigir o deslocamento do ponto de trabalho. Todo o processo de leitura, condicionamento e processamento dos sinais de entrada para fins de controle foi concluído.

O resultado final do *software* atendeu à expectativa inicial do trabalho, que era, além da implementação do algoritmo MPPT, o desenvolvimento de uma proposta de sistema com interface eficiente, que apresentasse, mesmo que em versão piloto, as possibilidades de utilização desse tipo de processamento para aplicações mais robustas.

Além disso, o sistema conseguiu seguir a tendência das soluções em automação modernas para a próxima década: sistemas supervisionados remotamente por dispositivos *smarthphones* ou *tablets*. Essa tendência aponta para sistemas interligados com gerenciamento de fontes próprias de geração de energia elétrica, sistemas de armazenamento e controle de carga, utilizando medidores inteligentes de energia, aliados às funções convencionais existentes, ou seja, a combinação de eficiência e comodidade, o que pode ser uma tradução da ideia de consumo eficiente. Buscar desenvolver ferramentas que tornem possível essa realização deve ser uma das tarefas à nortear os trabalhos relacionados à geração e eficiência energética.

Como trabalho futuro, deve ser implementado, primeiramente, o conversor DC-DC do regulador chaveado para atuar como controlador de carga, a fim de prototipar todo o sistema descrito. Posteriormente, deve-se trabalhar no aprimoramento do controlador a fim de interligar esse sistema com a rede elétrica.

REFERÊNCIAS

AHMAD, Shafil. Smart metering and home automation solutions for the next decade. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON EMERGING TRENDS IN NETWORKS AND COMPUTER COMMUNICATIONS (ETNCC), 1., 2011, Udaipur, India. **Proceedings**. Udaipur: IEEE, 2011. p. 200 - 204.

BHATNAGAR, Pallavee; NEMA, R. K. Maximum power point tracking control techniques: state-of-the-art in photovoltaic applications. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**. Golden, p. 224-241. 2013.

CARRIJO, Daiane Rezende et al. UMA PROPOSTA DE TÉCNICA DE RASTREAMENTO DO PONTO DE MÁXIMA POTÊNCIA DE UM PAINEL FOTOVOLTAICO. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA, 18., 2010, Bonito. **Anais...** . Bonito: 2010. p. 2543 - 2548.

CARVALHO, Domingos Miguel Sequeira. **Análise e caracterização energética de sistemas fotovoltaicos de baixa potência com ligação à rede eléctrica**. 2011. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2011.

ESRAM, Trishan; CHAPMAN, Patrick L.. Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques. **IEEE Transactions On Energy Conversion**, Urbana, v. 22, n. 2, p.439-449, jun. 2007.

ETAWIL, Mohamed A.; ZHAO, Zhengming. MPPT Techniques for Photovoltaic Applications. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**. Golden, p. 793-813. 2013.

Grupo de Trabalho de Energia Solar - GTES. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. 2. ed. Rio de Janeiro: CRESESB, 1999.

MORALES, David Sanz. **Maximum power point tracking algorithms for photovoltaic applications**. 2010. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia, Aalto University, Otaniemi, 2010.

NATIONAL INSTRUMENTS. **Instrumentação virtual**. Disponível em: <<http://brasil.ni.com>>. Acesso em: 20 set. 2010.

NATIONAL INSTRUMENTS. **MyDAQ**. Disponível em: <<http://ni.com>>. Acesso em: 10 out. 2015.

PARTAIN, Larry D. (Ed.). **Solar cells and their applications**. New York: Wiley-interscience, 1995.

REENERGY SOLAR. **Energia solar fotovoltaica**. Disponível em: <<http://reenergy-solar.com.br>>. Acesso em: 10 out. 2015.

RODRIGUES, Cesar Ramos. A INSTRUMENTAÇÃO VIRTUAL COMO FORMA DE INTEGRAÇÃO ENTRE A TEORIA E PRÁTICA NO ENSINO DE MEDIDAS ELÉTRICAS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA, 29., 2001, Porto Alegre. **Anais...** . Porto Alegre: PUC, 2001.

SPARKFUN. **Sparkfun low current sensor breakout**. Disponível em: <<https://www.sparkfun.com/>>. Acesso em: 10 out. 2015.

VILLALVA, Marcelo Grandella; GAZOLI, Jonas Rafael. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. São Paulo: Érica, 2012.

YOUSSEF, E. B.; STHEPANE P.; BRUNO, E.; CORINNE, A. New P&O MPPT algorithm for FPGA implementation. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**. Golden, p. 2868-2873. 2010.