

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CÂMPUS CORNÉLIO PROCÓPIO  
DIRETORIA DE GRADUAÇÃO E EDUCAÇÃO PROFISSIONAL  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELÉTRICA  
ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

GABRIEL TEIXEIRA GRAZIANO DE OLIVEIRA

**SISTEMA DE MONITORAMENTO DE VARIAÇÕES DE TENSÃO DE  
CURTA DURAÇÃO EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA**

PROPOSTA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**CORNÉLIO PROCÓPIO**

**2017**

**GABRIEL TEIXEIRA GRAZIANO DE OLIVEIRA**

**SISTEMA DE MONITORAMENTO DE VARIAÇÕES DE TENSÃO DE  
CURTA DURAÇÃO EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA**

Proposta de Trabalho de Conclusão de Curso de graduação do curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel.

Orientador: Prof<sup>o</sup>.Dr. Andre Sanches Fonseca  
Sobrinho

**CORNÉLIO PROCÓPIO**

**2017**

## **RESUMO**

OLIVEIRA, Gabriel T. G. de. Sistema de monitoramento de variações de tensão de curta duração em redes de distribuição de energia. 19 f. Proposta de Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia de Controle e Automação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2017.

**Palavras-chave:**

## **ABSTRACT**

OLIVEIRA, Gabriel T. G. de. . 19 f. Proposta de Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia de Controle e Automação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2017.

**Keywords:**

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	– Interrupção momentânea de tensão .....	11
FIGURA 2	– Afundamento instantâneo de tensão .....	12
FIGURA 3	– Elevação instantânea de tensão .....	12
FIGURA 4	– Configuração de pinos do CI ADE7758 .....	14
FIGURA 5	– Detecção de afundamento de tensão .....	14
FIGURA 6	– Detecção da tensão de pico usando o registrador VPEAK .....	15
FIGURA 7	– Detecção de elevação de tensão .....	16

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1	– Tipos de VTCD .....	10
TABELA 2	– Variações de Tensão de Curta Duração .....	13
TABELA 3	– Cronograma de Execução .....	18

## **LISTA DE SIGLAS**

VTCD	Variações de Tensão de Curta Duração
CI	Circuito Integrado

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
1.1	PROBLEMA .....	9
1.2	JUSTIFICATIVA .....	9
1.3	OBJETIVOS .....	9
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>10</b>
2.1	VARIAÇÕES DE TENSÃO DE CURTA DURAÇÃO .....	10
2.1.1	Interrupção de Tensão ( <i>Interruption</i> ) .....	10
2.1.2	Afundamento de Tensão ( <i>Voltage Sag</i> ) .....	11
2.1.3	Elevação de Tensão ( <i>Voltage Swell</i> ) .....	12
2.2	MICROCONTROLADOR PIC32MX795F512L .....	13
2.3	CIRCUITO INTEGRADO ADE7758 .....	13
2.3.1	Detecção de afundamento de tensão de linha .....	14
2.3.2	Detecção de tensão de pico .....	15
2.3.3	Interrupção de Detecção de Sobretensão .....	15
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>17</b>
<b>4</b>	<b>CRONOGRAMA .....</b>	<b>18</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>19</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Amplamente debatido nas últimas décadas, o tema da qualidade de energia tem ganho ainda mais importância nos dias atuais. Com processos industriais cada vez mais automatizados, a operação e o controle eficiente das máquinas se torna gradativamente mais suscetível à falhas na energia distribuída pela rede elétrica.

Para entender esse conceito, diversas definições podem ser adotadas. Uma concessionária de energia define qualidade como o grau de confiança em seu sistema de distribuição, enquanto fabricantes de equipamentos de carga definem qualidade como as características da energia fornecida pela rede que permitem o funcionamento correto de seus produtos. Quando considera-se o ponto de vista do consumidor, qualidade pode ser qualquer problema manifestado em desvios na corrente, tensão ou frequência que resultem em falha ou mau funcionamento de seus equipamentos (DUGAN et al., 2002).

Dentre as razões pelas quais o interesse na qualidade de energia tem aumentado, algumas podem ser destacadas como principais. Equipamentos eletrônicos, com controle baseado em microprocessadores e power electronic devices, se tornaram muito mais sensíveis à distúrbios de tensão do que eram há dez, vinte anos. Além disso, os dispositivos hoje em dia são quase totalmente conectados em redes. Uma falha em um único componente pode gerar graves consequências para todo o sistema (DUGAN et al., 2002; BOLLEN, 2002).

Para que seja possível fazer uma análise mais técnica do assunto, muitas vezes o conceito de qualidade de energia é demasiadamente vago. A taxa de energia fornecida pela rede (potência) é proporcional ao produto da corrente pela tensão. Como uma concessionária de energia tem controle apenas sobre a tensão que é fornecida, o conceito de qualidade de tensão é o mais apropriado e utilizado para definir o padrão de qualidade no fornecimento de energia elétrica (DUGAN et al., 2002).

## 1.1 PROBLEMA

## 1.2 JUSTIFICATIVA

## 1.3 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um sistema de detecção de variações de tensão de curta duração em redes de distribuição de energia elétrica, mantendo as informações relativas a cada ocorrência disponíveis para consulta online por concessionárias de energia.

Definido o objetivo geral do trabalho, pode-se destacar os seguintes pontos como objetivos específicos:

- Configurar o microcontrolador PIC32MX795F512L para realizar a comunicação com o circuito integrado ADE7758;
- Programar o circuito integrado ADE7758 para realizar a detecção dos diferentes tipos de variações de tensão de curta duração;
- Configurar o microcontrolador PIC32MX795F512L para funcionar como um servidor TCP/IP, salvando as informações das ocorrências em tempo real.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 VARIAÇÕES DE TENSÃO DE CURTA DURAÇÃO

Variações de tensão de curta duração (VTCD) são desvios significativos no valor eficaz da tensão em curtos intervalos de tempo. Essas variações podem ser momentâneas ou temporárias, tendo como principais causas condições de falta, energização de grandes cargas que demandam correntes altas de partida e conexões frouxas intermitentes nos cabos de energia (ANEEL, 2011; MACHADO et al., 2006).

Usualmente as VTCD referem-se à tensão fase-neutro, podendo ser descritas monofasicamente por dois parâmetros, amplitude e duração. A amplitude, levando-se em consideração um determinado ponto do sistema, é definida pelo valor extremo do valor eficaz da tensão em relação à tensão nominal, enquanto durar o evento (ONS, 2011).

A duração das VTCD é caracterizada pelo tempo percorrido entre o momento em que o valor eficaz da tensão em relação à tensão nominal do sistema ultrapassa um determinado limite e o momento em que volta ao valor anterior (ONS, 2011).

Os tipos de variações de tensão de curta duração são definidos de acordo com a tabela 1:

**Tabela 1: Tipos de VTCD**

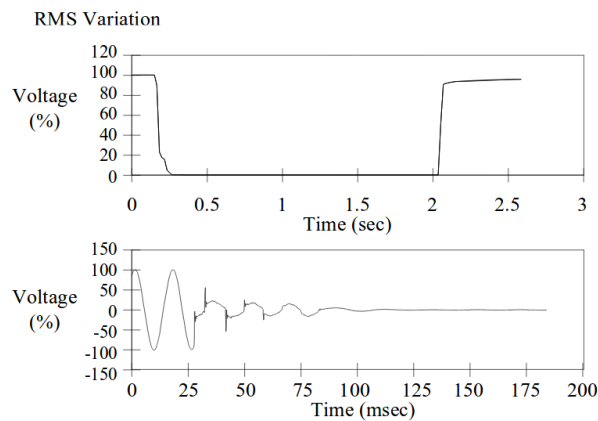
<b>Tipo</b>	<b>Duração</b>
Instantâneos	0.5 a 30 ciclos
Momentâneos	30 ciclos a 3 segundos
Temporários	3 segundos a 3 minutos

#### 2.1.1 INTERRUPÇÃO DE TENSÃO (*INTERRUPTION*)

A interrupção ocorre quando a amplitude da tensão decresce para um valor menor que 0,1 pu, em um período de até 3 minutos. Algumas de suas principais causas são condições de falhas no equipamento, falhas no sistema de energia e mau funcionamento de controladores

(ASSOCIATION et al., 2009).

A figura 1 ilustra a ocorrência de uma interrupção momentânea, com a tensão caindo para 0 durante aproximadamente 2 segundos. O primeiro gráfico apresenta a variação da tensão eficaz (rms) durante todo o evento, enquanto o segundo apresenta a variação do valor instantâneo da tensão durante o início da interrupção.



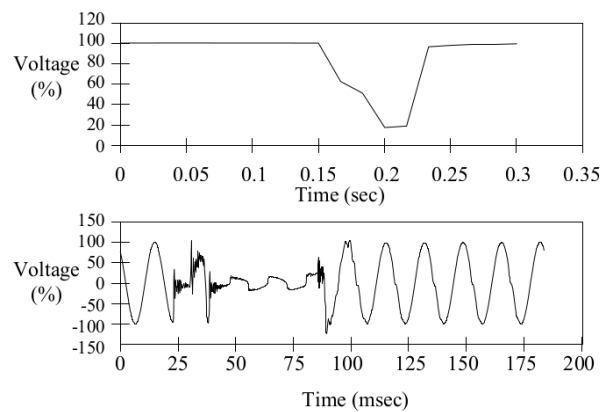
**Figura 1: Interrupção momentânea de tensão**

**Fonte: (ASSOCIATION et al., 2009)**

### 2.1.2 AFUNDAMENTO DE TENSÃO (*VOLTAGE SAG*)

O afundamento ocorre quando a tensão decai para um valor entre 0,1 e 0,9 pu (tensão remanescente de 0,1 a 0,9 pu). Esse evento é geralmente associado às condições de defeito no sistema, comutação de grandes blocos de carga e acionamento de grandes motores (ASSOCIATION et al., 2009).

A figura 2 ilustra um afundamento instantâneo com tensão remanescente de aproximadamente 0,2 pu. No primeiro gráfico, o afundamento é mostrado pela variação da tensão eficaz, com uma escala em segundos. No gráfico abaixo, a forma de onda completa da tensão (com escala em milissegundos) mostra uma oscilação maior do valor durante a duração do evento.



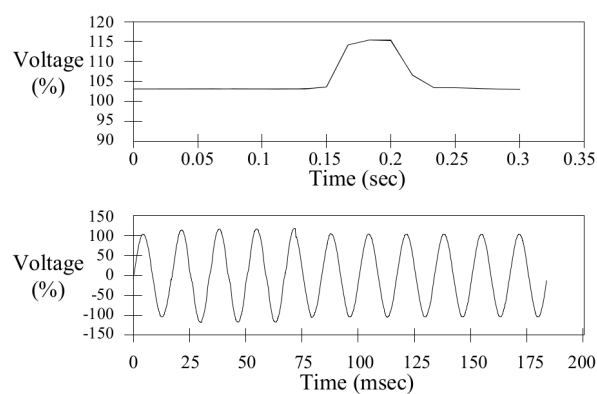
**Figura 2: Afundamento instantâneo de tensão**

**Fonte: (ASSOCIATION et al., 2009)**

### 2.1.3 ELEVAÇÃO DE TENSÃO (*VOLTAGE SWELL*)

A elevação de tensão é definida por um aumento na tensão eficaz acima de 1,1 pu, com duração descrita na tabela 2. Assim como ocorre com o afundamento, sua ocorrência está associada às condições de falhas no sistema, desligamento de grandes cargas ou bancos de capacitores (ASSOCIATION et al., 2009).

A figura 3 ilustra uma condição de elevação instantânea de tensão em um sistema, com dois gráficos indicando as variações da tensão instantânea e da eficaz.



**Figura 3: Elevação instantânea de tensão**

**Fonte: (ASSOCIATION et al., 2009)**

**Tabela 2: Variações de Tensão de Curta Duração**

Classificação	Denominação	Duração da Variação	Amplitude da tensão
Variação Momentânea de Tensão	Interrupção Momentânea de Tensão	Inferior ou igual a três segundos	Inferior a 0,1 p.u
	Afundamento Momentânea de Tensão	Superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a três segundos	Superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 p.u
	Elevação Momentânea de Tensão	Superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a três segundos	Superior a 1,1 p.u
Variação Temporária de Tensão	Interrupção Temporária de Tensão	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Inferior a 0,1 p.u
	Afundamento Temporário de Tensão	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 p.u
	Elevação Temporária de Tensão	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Superior a 1,1 p.u

## 2.2 MICROCONTROLADOR PIC32MX795F512L

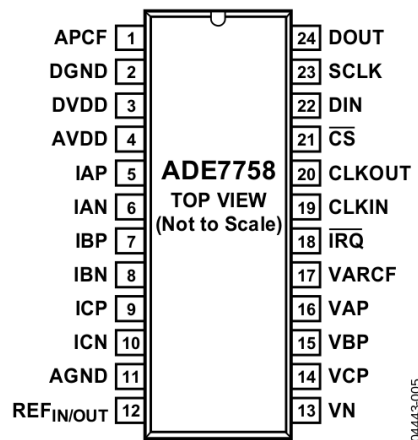
Para este trabalho será utilizado o microcontrolador PIC32MX795F512L, fabricado pela empresa *Microchip Technology Incorporated*, que possui unidade de processamento de 32 bits, 512 kB de memória Flash, 128 kB de memória RAM, frequência de operação de 80 MHz e faixa de operação de tensão de 2,3 V a 3,6 V (MICROCHIP TECHNOLOGY INCORPORATED, 2011).

Outra característica importante desse microcontrolador é a presença de uma interface de controle de acesso ethernet MAC de 10/100 Mbps (MICROCHIP TECHNOLOGY INCORPORATED, 2011) que, em conjunto com o relógio e calendário em tempo real, permitirão configurar o dispositivo para funcionar como um servidor, salvando as informações de tipo, duração e hora das ocorrências de eventos na tensão e disponibilizando essa informação para consulta online (DILIGENT INCORPORATED, 2013).

## 2.3 CIRCUITO INTEGRADO ADE7758

O ADE7758, fabricado pela empresa *Analog Devices*, é um circuito integrado medidor de energia elétrica trifásica, de alta precisão, com interface serial e alimentação de 5V. Esse

circuito conta com seis entradas analógicas, divididas em dois canais: tensão e corrente. O canal de tensão conta com três entradas: VAP, VBP e VCP. (ANALOG DEVICES, 2011)



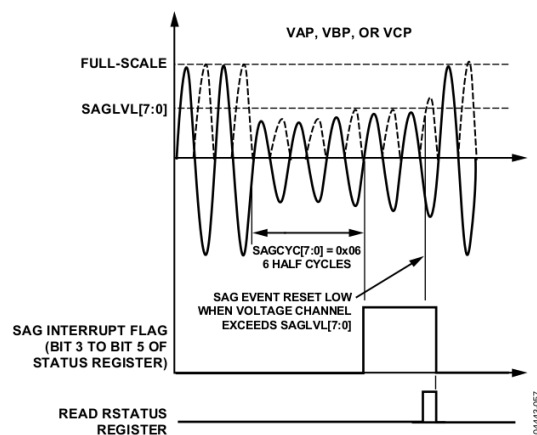
**Figura 4: Configuração de pinos do CI ADE7758**

**Fonte: (ANALOG DEVICES, 2011)**

Para o propósito deste trabalho, o ADE7758 apresenta algumas funções muito úteis, descritas abaixo.

### 2.3.1 DETECÇÃO DE AFUNDAMENTO DE TENSÃO DE LINHA

A função de detecção de afundamento de tensão de linha permite verificar quando o valor absoluto de qualquer uma das fases da tensão cair abaixo de um certo valor predeterminado, durante um número de meio ciclos.



**Figura 5: Detecção de afundamento de tensão**

**Fonte: (ANALOG DEVICES, 2011)**

A figura 5 ilustra um exemplo dessa função. A tensão de linha cai abaixo de um limiar definido no registrador de nível de afundamento (SAGLVL[7:0]) durante nove meio ciclos. Como o registrador de ciclos de afundamento indica um limiar de seis ciclos (SEGCYC[7:0]=0x06), o evento de afundamento começa a ser registrado após o fim do sexto meio ciclo quando o SAG flag da fase correspondente no interrupt status register (Bit 1 até Bit 3 no interrupt status register) (ANALOG DEVICES, 2011).

### 2.3.2 DETECÇÃO DE TENSÃO DE PICO

O CI ADE7758 possui o registrador VPEAK, que armazena o valor absoluto de pico da forma de onda da tensão, dentro de um número fixo de meio ciclos. Além disso, múltiplas fases podem ser ativadas para essa detecção simultânea através da configuração dos bits de PEAKSEL[2:4], no registrador MMODE. Esses bits podem seleccionar fase para medição da tensão e da corrente. (ANALOG DEVICES, 2011)

A figura 6 ilustra o comportamento temporal da detecção da tensão de pico.

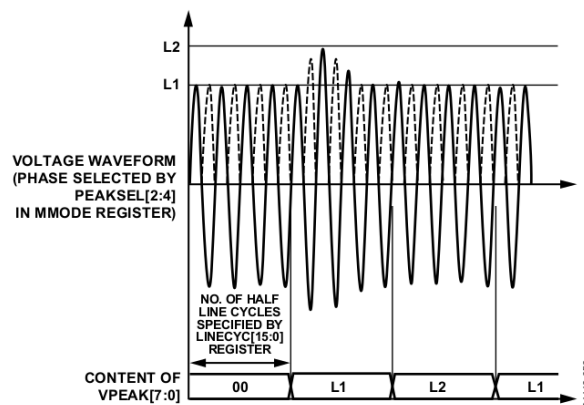


Figure 58. Peak Voltage Detection Using the VPEAK Register

**Figura 6: Detecção da tensão de pico usando o registrador VPEAK**

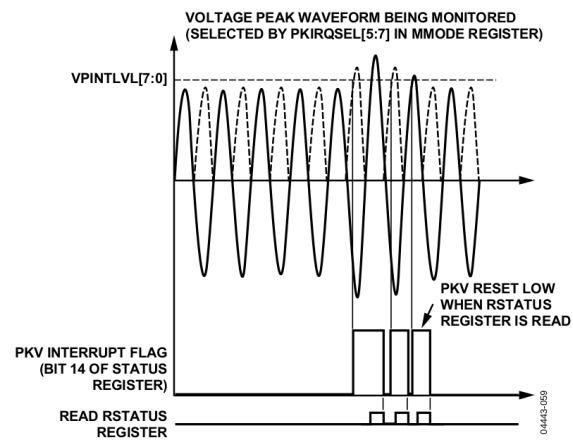
**Fonte: (ANALOG DEVICES, 2011)**

### 2.3.3 INTERRUPTÃO DE DETECÇÃO DE SOBRETENSÃO

Na figura 7 é possível ver o comportamento da detecção de sobretensão, quando o valor absoluto da tensão excede um limiar configurado no registrador VPINTLVL[7:0]. O Bit 14 (*PKV flag*) do registrador de interrupção é responsável por gravar a ocorrência da sobretensão. Assim como na detecção de tensão de pico, múltiplas fases de tensão e corrente podem ser monitoradas individualmente a partir da configuração dos bits PKIRQSEL[5:7] do registrador



MMODE (ANALOG DEVICES, 2011).



**Figura 7: Detecção de elevação de tensão**

**Fonte: (ANALOG DEVICES, 2011)**

### **3 METODOLOGIA**

#### 4 CRONOGRAMA

**Tabela 3: Cronograma de Execução**

<b>Etapas</b>	<b>Setembro</b>	<b>Outubro</b>	<b>Novembro</b>	<b>Dezembro</b>	<b>Fevereiro</b>	<b>Março</b>	<b>Abril</b>	<b>Maió</b>	<b>Junho</b>
<b>1</b>	x	x	x						
<b>2</b>	x	x							
<b>3</b>	x	x	x						
<b>4</b>			x						
<b>5</b>			x	x					
<b>6</b>			x	x	x	x	x		
<b>7</b>						x	x	x	
<b>8</b>						x	x	x	
<b>9</b>									x

1. Revisão bibliográfica
2. Definição e estudo das tecnologias
3. Escrita da proposta
4. Correções da proposta
5. Aplicação dos conceitos teóricos
6. Desenvolvimento do protótipo
7. Validação e análise dos resultados
8. Elaboração da monografia e artigo científico
9. Defesa

## REFERÊNCIAS

ANALOG DEVICES. **Poly Phase Multifunction Energy Metering IC with Per Phase Information - ADE7758 Datasheet**. United States of America, 2011. Rev. E.

ANEEL. **Procedimentos de Distribuicao de Energia Eletrica no Sistema Eletrico Nacional (PRODIST) - Modulo 8 - Qualidade de Energia**. [S.l.], 2011.

ASSOCIATION, I. S. et al. **1159-2009. IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality Industrial and Commercial Applications**. New York: IEEE Press, 2009.

BOLLEN, M. H. J. **Understanding Power Quality Problems - Voltage Sags and Interruptions**. United States of America: John Wiley and Sons, 2002. ISBN 0-7803-4713-7.

DILIGENT INCORPORATED. **Cerebot MX7cK Board Reference Manual**. United States of America, 2013. Rev B.

DUGAN, R. C. et al. **Electrical power systems quality**. United States of America: McGraw-Hill, 2002.

MACHADO, R. N. d. M. et al. Detecção, classificação e quantificação automática de variações de tensão de curta duração para aplicação em análise de pós-operação em sistemas de energia elétrica. Universidade Federal do Pará, 2006.

MICROCHIP TECHNOLOGY INCORPORATED. **PIC32MX5XX/6XX/7XX Family Data Sheet - High-Performance, USB, CAN and Ethernet 32-bit Flash Microcontrollers**. United States of America, 2011. Rev. E.

ONS, P. d. R. **Gerenciamento dos indicadores de Desempenho da Rede Basica e seus Componentes**. [S.l.], 2011.