

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

**ALEX SIDNEY RODRIGUES COELHO
ALEXANDER SCHREMETA HUMACAYO**

**ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DE UM MEDIDOR DE CONSUMO
DE ENERGIA MICROCONTROLADO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**PONTA GROSSA
2016**

**ALEX SIDNEY RODRIGUES COELHO
ALEXANDER SCHREMETA HUMACAYO**

**ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DE UM MEDIDOR DE CONSUMO
DE ENERGIA MICROCONTROLADO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial, do Departamento Acadêmico de Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Mendes Casaro.

**PONTA GROSSA
2016**

Dedicamos este trabalho a nossa família,
aos amigos, aos colegas do curso de
automação industrial e aos professores do
DEPARTAMENTO DE ELETRÔNICA.



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Ponta Grossa
Departamento Acadêmico de Eletrônica
Tecnologia em Automação Industrial



TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DE UM MEDIDOR DE CONSUMO DE ENERGIA MICROCONTROLADO

por

ALEX SIDNEY RODRIGUES COELHO
ALEXANDER SCHREMETA HUMACAYO

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 27 de junho de 2016 como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial. Os candidatos foi arguidos pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Marcio Mendes Casaro
Prof. Orientador

Edson Luiz Salgado Silva
Membro titular

Helio Voltolini
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

AGRADECIMENTOS

Certamente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de nossas vidas. Portanto, desde já pedimos desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do nosso pensamento e gratidão.

Agradecemos ao nosso orientador Prof. Dr. Marcio Mendes Casaro, pela sabedoria com que nos guiou nesta trajetória e pela sua disposição no decorrer deste trabalho.

Agradecemos à banca composta pelos professores Edison Luiz Salgado Silva e Helio Voltolini pelas contribuições.

A Coordenação de Eletrônica e ao Prof. MSC. Júlio Cesar Guimarães, por deixar a nossa disposição equipamentos e laboratórios.

Gostaríamos de deixar registrado também, o nosso reconhecimento aos nossos familiares, pois acreditamos que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

Mais do que máquinas precisamos de
humanidade.
Mais do que inteligência precisamos de
afeição e doçura.
Sem essas virtudes a vida será de
violência e tudo estará perdido.

(CHAPLIN, Charles, 1940)

RESUMO

COELHO, Alex Sidney Rodrigues; HUMACAYO, Alexander Schremeta. **Análise e Desenvolvimento de um Medidor de Consumo de Energia Microcontrolado.** 2016. 61 páginas. Trabalho De Conclusão De Curso de Tecnologia em Automação Industrial – Universidade Tecnológica Federal Do Paraná. Ponta Grossa, 2016.

A energia elétrica é indispensável, ela é utilizada nas indústrias, casas, carros, estabelecimentos comerciais, escolas, hospitais. Com os consecutivos reajustes na conta de luz e a preservação dos recursos naturais, o usuário necessita de um meio para controlar o consumo de energia elétrica. Uma solução é a utilização de um medidor de consumo de energia microcontrolado. Este medidor baseia-se na leitura dos sinais da tensão e da corrente fornecidas por uma tomada elétrica, através de sensores de efeito hall, no condicionamento destes sinais e no processamento digital dos mesmos, através de um DSP.

Palavras-chave: Medidor de energia. Sensor de tensão. Sensor de corrente. Condicionamento de sinais. DSP.

ABSTRACT

COELHO, Alex Sidney Rodrigues; HUMACAYO, Alexander Schremeta. **Analysis and development of micro-controlled energy consumption meter.** 2016. 61 Pages. Undergraduation Conclusion Work in Industrial Automation Technology – Federal University of Technology - Paraná, Ponta Grossa, 2016.

Electrical power is essential, it is used in industries, homes, cars, stores, schools, hospitals. Because the consecutive increases in the energy bill and for the conservation of natural resources, the consumer needs a way to control the power consumption. One solution is the use of a microcontrolled energy consumption meter. The meter is based on the measurement of voltage and current supplied by an electrical outlet, through the Hall Effect sensors, in the conditioning of these signals and digital processing of same, through a DSP.

Keywords: Power Meter. Voltage sensor. Current sensor. Signal Conditioning. DSP.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Diagrama de blocos do medidor de energia	14
Figura 2 - Sensor de tensão LV25-P.	15
Figura 3 - Esquema de ligação do sensor de tensão	17
Figura 4 - Tensão do sensor somada com a tensão do 7805.	18
Figura 5 - Circuito de condicionamento pré AmpOp.....	18
Figura 6 - Amplificador operacional com resistor de realimentação negativa.	19
Figura 7 - Estrutura do filtro passa baixa.....	20
Figura 8 - Esquema do circuito de condicionamento de tensão completo	22
Figura 9 - Sensor de corrente LA55-P	23
Figura 10 - Esquema ligação do sensor de corrente.....	24
Figura 11 - Esquema do circuito de condicionamento de corrente completo.	25
Figura 12 - Simulação do circuito de condicionamento pré AmpOp.....	25
Figura 13 - Senóide das tensões do circuito de condicionamento.	26
Figura 14 - Simulação da tensão pré-amplificador operacional.....	26
Figura 15 - Simulação do circuito de condicionamento completo.....	27
Figura 16 - Sinal de saída do circuito de condicionamento	27
Figura 17 - Arquitetura Harvard.....	29
Figura 18 - Pinagem Piccolo™ MCU controlSTICK.....	33
Figura 19 - Bloco de interrupção	34
Figura 20 - Variáveis da programação	36
Figura 21 - Configuração do tempo de aquisição de dados	36
Figura 22 - Tempo de aquisição de dados	36
Figura 23 - Pontos de aquisição de dados de tensão e corrente	37
Figura 24 - While(1) programação.....	38
Figura 25 – Configuração dos pinos ADC	38
Figura 26 - Fonte de tensão e osciloscópio.....	39
Figura 27 - Tensão de saída do sensor de tensão.	39
Figura 28 - Tensão de saída do circuito de condicionamento de tensão	40
Figura 29 - Testes do medidor	40
Figura 30 - Tensão na saída do circuito de condicionamento de corrente	41
Figura 31 - Layout da placa de circuito impresso	41
Figura 32 - Teste final	42
Figura 33 - Gráfico de tensão.....	43
Figura 34 - Gráfico de corrente	43
Figura 35 - Valores medidos e calculados	44
Figura 36 - Diagrama eletrônico do medidor.	44
Figura 37 - Datasheet LV25-P página 1/3	50
Figura 38 - Datasheet LV25-P página 2/3	51

Figura 39 - Datasheet LV25-P página 3/3	52
Figura 40 - Datasheet LA55-P página 1/3	54
Figura 41 - Datasheet LA55-P página 2/3	55
Figura 42 - Datasheet LA55-P página 3/3	56
Figura 43 - LM324	58
Figura 44 - Programação do microcontrolador	60
Figura 45 - Programação do microcontrolador	61

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 MONITORAMENTO DE TENSÃO.	14
2.1 SENSOR DE TENSÃO LV25-P.	14
2.2 CIRCUITO DE CONDICIONAMENTO PARA O SENSOR DE TENSÃO.....	15
2.2.1 Projeto do Somador Inversor.	16
2.2.2 Projeto Filtro Passa Baixa.....	20
3 MONITORAMENTO DE CORRENTE.	23
3.1 SENSOR DE CORRENTE LA55-P.....	23
3.2 CIRCUITO DE CONDICIONAMENTO PARA O SENSOR DE CORRENTE. ...	24
4 SIMULAÇÃO.	25
5 MICROCONTROLADOR TMS320F28027	28
5.1 PARTES DO MICROCONTROLADOR.....	28
5.1.1 CPU	28
5.1.2 Barramento de Memória	29
5.1.3 Memória Flash	30
5.1.4 Blocos de Memórias M0 E M1	30
5.1.5 WATCHDOG.....	30
5.1.6 General-Purpose Input/Output (GPIO).....	31
5.1.7 Periféricos de Controle e Comunicação.....	31
5.1.8 Timers.....	32
5.1.9 Pinagem Do Kit De Experimentação TMS320F28027	33
5.1.10 Bloco De Periférico De Expansão De Interrupção (Pie)	33
6 PROGRAMAÇÃO DO MICROCONTROLADOR	35
7 RESULTADO EXPERIMENTAL	38
7.1 TESTES NO CIRCUITO DE CONDICIONAMENTO DE TENSÃO.	39
7.2 TESTES NO CIRCUITO DE CONDICIONAMENTO DE CORRENTE.....	40
7.3 CONFECÇÃO DA PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO.	41
7.4 TESTES COM KIT PICCOLO™ MCU CONTROLSTICK F28027	42
CONCLUSÃO	45
ANEXO A - Datasheet do Sensor de Tensão LV25-P.	49
ANEXO B - Datasheet do Sensor de Corrente LA55-P.....	53
ANEXO C - Circuito Integrado LM324.....	57
APÊNDICE A - Programação do Microcontrolador.	59

1 INTRODUÇÃO

Em nível mundial, a energia elétrica impulsiona a tecnologia e os serviços que prolongam a vida. A energia aciona computadores avançados, melhora os meios de transporte, expande as comunicações, equipamentos, procedimentos médicos, entre outros.

A disponibilidade de energia promove a expansão da indústria, a modernização da agricultura, a ampliação do comércio e a melhoria dos transportes, contribuindo com o crescimento econômico, gerando novos empregos e no desenvolvimento humano.

A economia de energia elétrica é e sempre foi uma necessidade. De janeiro a agosto de 2015, o valor da energia elétrica sofreu um reajuste de 56,4% (DIONÍSIO, 2015). Dessa forma, a população se obriga a economizar para poder ter um controle no orçamento familiar. A questão ecológica é outro fator que vem obrigando a economia de energia, já que as fontes não renováveis já não são tão abundantes como anos atrás e tem um grande impacto ambiental, muitas vezes prejudicando a flora a fauna e os ecossistemas como um todo. Dessa forma, se faz necessário o aumento do uso de energias renováveis, como a energia hidráulica, eólica, biomassa, entre outros.

Nas residências, os equipamentos que mais consomem energia elétrica são aqueles que funcionam de acordo com a lei de joule, ou seja, que transformam energia elétrica em calor. Por exemplo, o ferro, o chuveiro, o secador de cabelo, a churrasqueira elétrica e o secador de roupas. Na lâmpada incandescente, 95% da energia consumida é transformada em calor e apenas 5% é transformada em luz (FERREIRA, TOMIOKA, FACO, 2014). Uma solução encontrada foi a proibição da venda de lâmpadas incandescentes, deixando a escolha entre lâmpadas fluorescentes e LED que possuem eficiência energética vantajosa.

O setor industrial consome 35,1% de toda a energia consumida no Brasil. (SOARES, TOSTES, SOARES, 2014). Segundo dados de uma pesquisa realizada em março de 2015 pela Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (Firjan), o custo médio da energia elétrica para as indústrias no Brasil era de R\$498,30 por MWh, sendo a terceira mais cara em um ranking que contempla 28

países (LAGÔA, 2015). Na indústria, o consumo de energia elétrica representa um dos custos mais elevados para o processo de produção.

Devido a esse contexto, as indústrias vêm buscando gerenciadores de energia elétrica para reduzir esses custos, além de aumentar a produtividade e a competitividade da indústria. Outras ações vêm sendo feitas pelas indústrias buscando a eficiência energética, como o redimensionamento de motores, a atualização do parque fabril e a implantação de sistemas industriais, que representam uma economia de 39% (SILVA, NEVES, 2015).

Devido ao consumo, deve-se analisar o rendimento dos equipamentos. Os que possuem rendimento elevado consomem menos energia. Mas o rendimento é relativo, ou seja, para classificar o rendimento de um aparelho o seu consumo precisa ser medido e comparado com outro. Uma solução para o controle de consumo é o medidor de consumo de energia.

Neste cenário, esse trabalho de conclusão de curso é um projeto de um medidor de consumo de energia elétrica microcontrolado. Ele será responsável por medir o consumo de um equipamento ou de um circuito específico, apresentando a potência média do aparelho ao usuário e seu consumo de energia em kWh, bem como o tempo no qual esse consumo foi integralizado. Para tanto, utilizam-se os sensores LV25-P e o LA55-P que permitirão o monitoramento da tensão e da corrente respectivamente. Os sinais serão processados no microcontrolador TMS320F28027 que está no kit de experimentação Piccolo™ MCU controlSTICK.

O microcontrolador fará os cálculos de potência e a soma das mesmas em uma base de tempo específica, a fim de integralizar a energia consumida. O valor de energia consumida pelo aparelho será útil ao usuário, pois com esse valor o consumidor poderá saber quanto determinado aparelho estará pesando na sua fatura de energia elétrica. Para isso basta que ele multiplique a energia consumida em kWh, pelo valor unitário cobrado pela concessionária de luz. Os principais valores apresentados são a energia consumida, a potência média e o tempo de medição.

Na figura 1, pode-se observar o diagrama de blocos do medidor de consumo de energia.

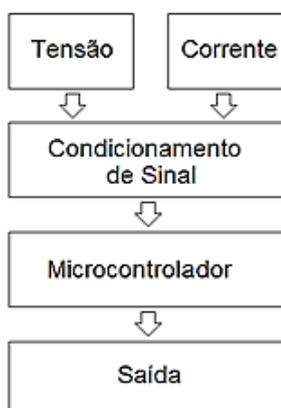


Figura 1 - Diagrama de blocos do medidor de energia
Fonte: Autoria própria

2 MONITORAMENTO DE TENSÃO.

O monitoramento de tensão baseia-se na leitura dos sinais obtidos através do sensor LV25-P. Esses sinais são nivelados através de um circuito de condicionamento para que os mesmos fiquem em níveis adequados antes que cheguem ao microcontrolador. Mas antes de fazer o projeto do circuito de condicionamento, é necessário conhecer um pouco do sensor de tensão, bem como as especificações necessárias para o desenvolvimento do condicionamento.

2.1 SENSOR DE TENSÃO LV25-P.

Este sensor foi desenvolvido para medições eletrônicas de corrente contínua (DC) e corrente alternada (AC). Ele possui isolamento galvânica entre o circuito primário e o circuito secundário. O mesmo possui alta precisão, boa linearidade, baixo tempo de resposta, alta imunidade a interferências externas, entre outras. Para medições de tensão, uma corrente proporcional ao sinal de tensão medido deve passar através de um resistor externo (R_e) que é calculado e instalado em série com o circuito primário transdutor. Para uma leitura correta do valor de tensão, na saída do sensor deve-se colocar um resistor de medição (R_m) em série com o circuito secundário do transdutor. Na figura 2 pode-se visualizar o sensor de tensão utilizado.

As informações mais importantes que encontram-se no Datasheet do LV25-P são (ver anexo A):

- Tensão nominal do primário (V_{pn}): 10 V à 500 V.
- Corrente nominal do primário (I_{pn}): 10 mA.
- Corrente primário de pico (I_{pm}): 14 mA.
- Resistência de medida (R_m): 100 Ω a 350 Ω (alimentação ± 15 V).
- Corrente eficaz nominal do secundário (I_{sn}): 25 mA.
- Razão de conversão (K_n): 2,5: 1



Figura 2 - Sensor de tensão LV25-P.
Fonte: Digikey.com

2.2 CIRCUITO DE CONDICIONAMENTO PARA O SENSOR DE TENSÃO.

Como os sensores trabalham com níveis alternados de tensão e corrente, se faz necessário projetar um circuito de condicionamento para ajustar os sinais antes que sejam enviados ao microcontrolador. O circuito em questão é responsável por amplificar, filtrar e equalizar os sinais para que os mesmos fiquem em níveis de tensão adequados para o microcontrolador, que vai de 0V à 3,3V. Com isso, tem-se uma condição perfeita para o funcionamento do medidor de energia microcontrolado. O circuito de condicionamento é elaborado com amplificadores operacionais presentes no CI LM324. Trata-se de um circuito integrado contendo quatro amplificadores operacionais, conforme figura 43 no anexo C.

2.2.1 Projeto do Somador Inversor.

Para ter uma melhor precisão do sensor de tensão, é necessário que a corrente nominal no primário (I_{pn}) seja de 10 mA (ver figura 39 no anexo A). Sendo assim, calcula-se o R_e através da equação 2.

$$Va_p = Va_{ef} x \sqrt{2} \quad (1)$$

$$R_e = \frac{Va_p}{I_{pn}} \quad (2)$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{I_S}{I_P} \quad (3)$$

Define-se $Va_{ef} = 127 V$, pois essa é a tensão de alimentação da rede utilizada para fazer as leituras.

$$Va_{ef} = 127 V$$

$$Va_p = 127 x \sqrt{2} = 180 V$$

Resolvendo a equação 2 é possível obter o valor do R_e :

$$R_e = \frac{180}{10 x 10^{-3}}$$

$$R_e = 18 \text{ k}\Omega$$

Manipulando a equação 3, confirma-se que o valor de I_{pn} deve ser 10 mA:

$$\frac{2,5}{1} = \frac{I_{sn}}{I_{pn}}$$

$$I_{sn} = 2,5 x I_{pn}$$

$$25 \text{ mA} = 2,5 x I_{pn}$$

$$I_{pn} = \frac{25}{2,5} = 10 \text{ mA}$$

Essa é a corrente de pico no primário obtida quando $V_a(t) = V_{a_p} = 180 V$. Assim, a faixa de tensão na saída do LV25-P estará entre $2,5V$ e $8,75V$, que correspondem a um R_m entre 100Ω e 350Ω respectivamente.

Para que o valor da tensão na saída do sensor varie entre $-5V$ à $+5V$ a medida de V_{a_p} vai de $-180V$ à $+180V$, calcula-se R_m , como pode-se observar através da equação 4.

$$R_m = 5V \times \frac{R_{m\max} - R_{m\min}}{V_{\max} - V_{\min}} \quad (4)$$

$$R_m = 5V \times \frac{350 - 100}{8,75 - 2,5}$$

$$R_m = 200\Omega$$

Na figura 3, pode-se visualizar como fica o esquema de ligação do sensor de tensão.

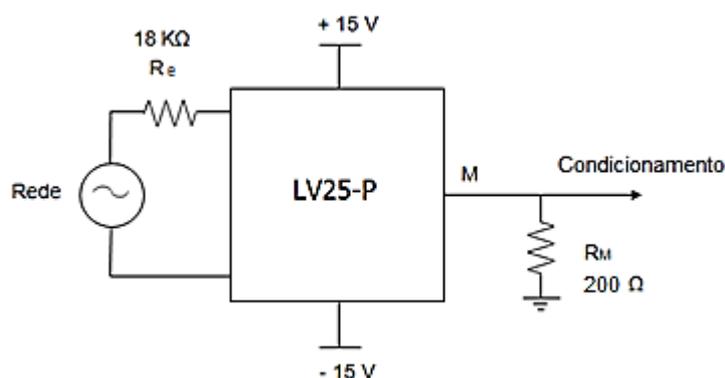


Figura 3 - Esquema de ligação do sensor de tensão
Fonte: Autoria própria

O sinal obtido na saída do sensor é somado à tensão do regulador 7805, Define-se R_1 e R_2 como $10 k\Omega$ para evitar interferência na leitura do sinal de tensão de saída do LV25-P.

Torres (2002, p 202) define regulador de tensão como:

Um regulador de tensão é um circuito capaz de pegar uma determinada tensão CC e “transformá-la” em uma tensão mais baixa. Por exemplo, pegar $20 V_{cc}$ e “transformar” essa tensão em $5 V_{cc}$. A “mágica” é feita através da dissipação térmica, isto é, o circuito regulador de tensão transforma em calor a tensão em excesso.

A tensão fornecida pelo regulador faz com que o sinal de entrada do amplificador operacional seja totalmente positivo. Dessa forma, quando a tensão do sensor estiver com amplitude de $-5V$ ele se somará com a tensão fornecida pelo regulador de tensão 7805. Com isso, a tensão ficará em $0V$ ($-5V$ do sensor $+5V$ do 7805). Quando a tensão do sensor estiver com amplitude de $+5V$, ela é somada com a tensão do 7805, ficando então com $10V$ ($+5V$ do sensor $+5V$ do 7805). A forma de onda da soma dos sinais do sensor e do regulador de tensão podem ser observados na figura 4.

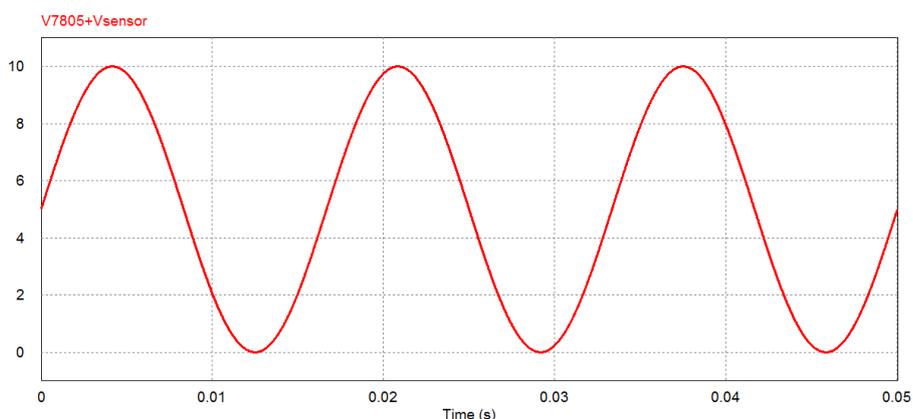


Figura 4 - Tensão do sensor somada com a tensão do 7805.
Fonte: Autoria própria

Na figura 5, pode-se observar parte do esquema do circuito de condicionamento.

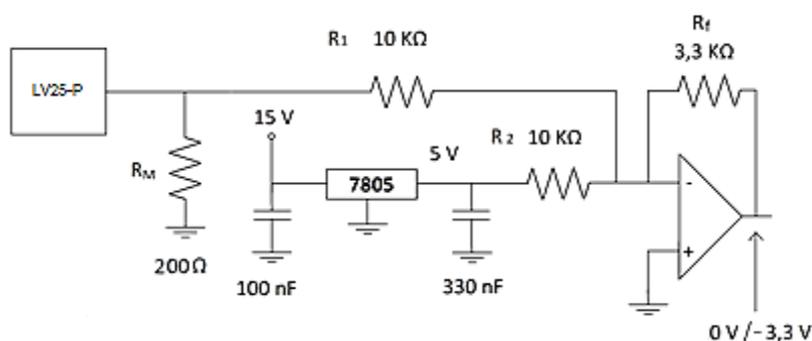


Figura 5 - Circuito de condicionamento pré AmpOp
Fonte: Autoria própria

A partir disso, tem-se um valor totalmente positivo, que vai de $0V$ a $10V$, antes que o sinal passe pelo amplificador operacional. Essa amplitude precisa ser abaixada, pois o microcontrolador trabalha com sinal de $0V$ a $3,3V$. Para isso, utiliza-se o circuito integrado LM324.

De acordo com Torres (2002, p. 190).

Circuitos integrados são dispositivos contendo um circuito pronto dentro de um encapsulamento. São os famosos "chips". Embora o aspecto mais usual dos circuitos integrados seja a famosa "centopéia preta" (encapsulamento chamado DIP, Dual In Parallel, ou Dual in Line) circuitos integrados podem ser constituídos de uma infinidade de encapsulamentos[...].

No LM 324, utiliza-se um amplificador operacional como somador inversor. Ele é responsável por deixar a tensão em nível compatível com o nível de entrada do microcontrolador, mas como é um somador inversor, o valor ficará negativo. Conectado com o amplificador tem-se um resistor como realimentação negativa, chamado de R_f . É através desse resistor que alteramos o ganho. Este resistor e o amplificador operacional podem ser observados na figura 6.

Através da equação 5 calcula-se R_f .

$$V_{out} = -R_f \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} \right) \quad (5)$$

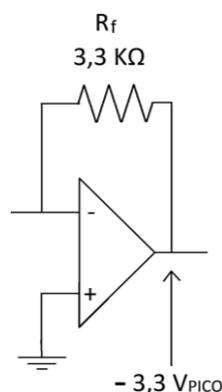
Como $R_1 = R_2$, então:

$$V_{out} = -\frac{R_f}{R_1} (V_1 + V_2)$$

$$R_f = \frac{V_{out} \times R_1}{V_1 + V_2}$$

$$R_f = \frac{3,3 \times 10 \times 10^3}{5 + 5}$$

$$R_f = 3300 \Omega$$



**Figura 6 - Amplificador operacional com resistor de realimentação negativa.
Fonte: Autoria própria**

2.2.2 Projeto Filtro Passa Baixa

Utilizou-se um filtro ativo passa baixa de segunda ordem que, além de filtrar ruídos provenientes da medição, também inverte a fase do sinal de entrada (PERTENCE, 2012 p.163). As equações necessárias para calcular os valores dos resistores, dos capacitores e do ganho (K) que deseja-se para o filtro são apresentadas em 6, 7, 8 e 9.

A primeira etapa é verificar a estrutura do filtro conforme figura 7.

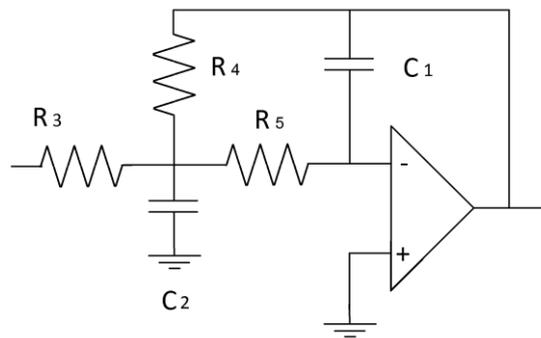


Figura 7 - Estrutura do filtro passa baixa
Fonte: Autoria própria

Dessa forma, tem-se as equações de Pertence (2012, p.163):

$$K = -\frac{R_4}{R_3} \quad (6)$$

$$R_4 = \frac{2(K+1)}{\left[aC_2 + \sqrt{a^2C_2^2 - 4bC_1C_2(K+1)} \right] \omega_c} \quad (7)$$

$$R_5 = \frac{1}{bC_1C_2\omega_c^2R_4} \quad (8)$$

$$C_1 \leq \frac{a^2C_2}{4b(K+1)} \quad (9)$$

Os valores de a e b contidas nas equações 7 e 9 definem o tipo de função-resposta ou aproximação desejada e são obtidos na tabela 8.1 do livro *Amplificadores Operacionais e Filtros Ativos* de Antônio Pertence Junior, página 182. Os valores encontrados são:

$$a = 1,414214$$

$$b = 1$$

O valor de C_2 deve ser próximo a $10/fc$ (com fc em hertz, tem-se C_2 em microfarad). Para evitar atenuação e defasagem em 60Hz, define-se o valor do fc para 1 kHz.

$$\frac{10}{1000} = 0,01$$

$$C_2 = 0,01\mu F = 10nF$$

Utiliza-se a equação 6 para definir o valor do ganho K . Como o sinal de entrada no filtro varia de 0V a -3,3V, precisa-se de um ganho de valor -1. Dessa forma, o valor de saída do circuito de condicionamento passa a variar de 0V a 3,3V, pois a amplitude não é alterada, mas o sinal passa a ser totalmente positivo.

Define-se R_3 e R_4 em 27 kHz para obter o ganho esperado.

$$K = -\frac{27 \times 10^3}{27 \times 10^3}$$

$$K = -1$$

De acordo com a equação 9 o C_1 fica:

$$C_1 \leq \frac{2 \cdot 10 \cdot 10^{-9}}{4.1(1 + 1)}$$

$$C_1 \leq 2,5nF$$

Para encontrar o valor do C_1 manipula-se a equação 7.

$$R_4 = \frac{2(K + 1)}{\left[a \cdot C_2 + \sqrt{a^2 \cdot C_2^2 - 4 \cdot b \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot (K + 1)} \right] \cdot \omega_c}$$

$$\left[a \cdot C_2 + \sqrt{a^2 \cdot C_2^2 - 4 \cdot b \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot (K + 1)} \right] \cdot \omega_c = \frac{2(K + 1)}{R_4}$$

$$a^2 \cdot C_2^2 - 4 \cdot b \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot (K + 1) = \left[\frac{2 \cdot (K + 1)}{R_4 \cdot \omega_c} - a \cdot C_2 \right]^2$$

$$4. b. C_1. C_2. (K + 1) = a^2. C_2^2 - \left[\frac{2. (K + 1)}{R_4. \omega_c} - a. C_2 \right]^2$$

$$C_1 = \frac{1}{4. b. C_2. (K + 1)} \cdot \left\{ a^2. C_2^2 - \left[\frac{2. (K + 1)}{R_4. \omega_c} - a. C_2 \right]^2 \right\}$$

$$C_1 = \frac{1}{4. 1. (10. 10^{-9}). (1 + 1)} \cdot \left\{ 1,41^2. (10. 10^{-9})^2 - \left[\frac{2. (1 + 1)}{1000. 27000} - 1,41. (10. 10^{-9}) \right]^2 \right\}$$

$$C_1 = 2,2 \text{ nF}$$

Como vimos anteriormente, o valor do C_1 calculado através da resolução da equação 7 é $2,2 \text{ nF}$, ficando menor ou igual a $2,5 \text{ nF}$ como calculado na equação 9. Define-se então o C_1 como $1,39 \text{ nF}$ para que o R_5 fique em valor desejado para montarmos o circuito de condicionamento.

Manipulando a equação 8 encontramos o valor do R_5 :

$$R_5 = \frac{1}{1,39 \times 10^{-9} \cdot 10 \times 10^{-9} \cdot (2 \cdot \pi \cdot 1 \times 10^3)^2 \cdot 27 \times 10^3}$$

$$R_5 = 67 \text{ k}\Omega$$

Na figura 8, pode-se observar circuito de condicionamento completo.

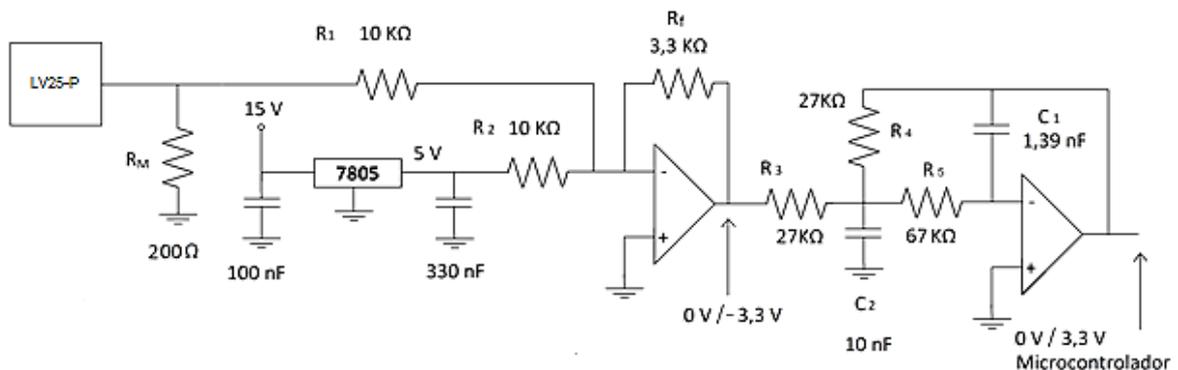


Figura 8 - Esquema do circuito de condicionamento de tensão completo
Fonte: Autoria própria

3 MONITORAMENTO DE CORRENTE.

O monitoramento de corrente baseia-se na leitura dos sinais obtidos através do sensor LA55-P. Esses sinais são nivelados através de um circuito de condicionamento para que fiquem em níveis adequados antes que cheguem até o microcontrolador. Mas antes de projetar o circuito de condicionamento, precisa-se conhecer um pouco do sensor de corrente, bem como as especificações necessárias para o desenvolvimento do condicionamento.

3.1 SENSOR DE CORRENTE LA55-P

Serve para a medição eletrônica de corrente contínua (DC) e corrente alternada (AC). O LA55-P possui isolamento galvânica entre o circuito primário (alta potência) e o circuito secundário (circuito eletrônico). Como características este possui boa linearidade, baixo desvio de temperatura, bom tempo de resposta, alta imunidade a interferências externas, entre outras.

As informações mais importantes encontram-se no Datasheet (ver anexo B) do LA55-P. São elas:

- Corrente eficaz nominal do primário (I_{pn}): 50 A.
- Resistência de medida (R_m): 135 Ω a 155 Ω (alimentação ± 15 V).
- Corrente eficaz nominal do secundário (I_{sn}): 50 mA.
- Razão de conversão (K_n): 1: 1000.

Na figura 9, pode-se visualizar o sensor utilizado.



Figura 9 - Sensor de corrente LA55-P
Fonte: Octopart.com

3.2 CIRCUITO DE CONDICIONAMENTO PARA O SENSOR DE CORRENTE.

Como no sensor de tensão, o sensor de corrente também precisa de uma alimentação de $-15V/+15V$. O que muda nesse sensor é o valor do R_m , que nesse caso deve estar entre 135Ω à 155Ω . Na figura 10 pode-se observar como é feita a ligação no sensor de corrente em questão.

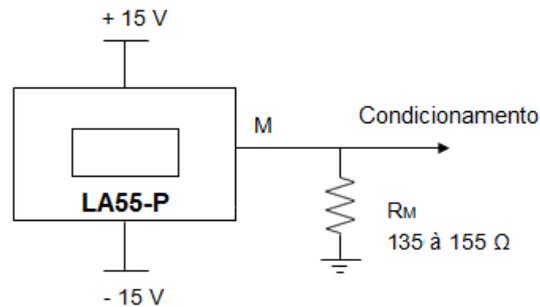


Figura 10 - Esquema ligação do sensor de corrente.
Fonte: Autoria própria

Para que o circuito de condicionamento do sensor de corrente seja igual ao condicionamento do sensor de tensão, precisa-se de uma tensão de saída (V_m) do sensor de $5V$. A partir disso, escolhem-se dois resistores de mercado que associados estarão dentro da faixa necessária para o R_m .

Usando um resistor de 120Ω em série com um de 33Ω obtém-se um R_m equivalente de 153Ω . Com isso, I_s fica em $32,67\text{ mA}$ para que o valor de V_m seja $5V$.

$$V = R \times I$$

$$V_m = 153 \times 32,67 \times 10^{-3}$$

$$V_m = 5V$$

Assim, obtém-se I_{pmax} de $32,67\text{ A}$ através da equação 3.

$$I_p = 32,67 \times 10^{-3} \times 1000$$

$$I_p = 32,67\text{ A}$$

Com isso, o circuito de condicionamento do sensor de corrente fica exatamente igual ao circuito referente ao sensor de tensão, como pode-se ver na figura 11.

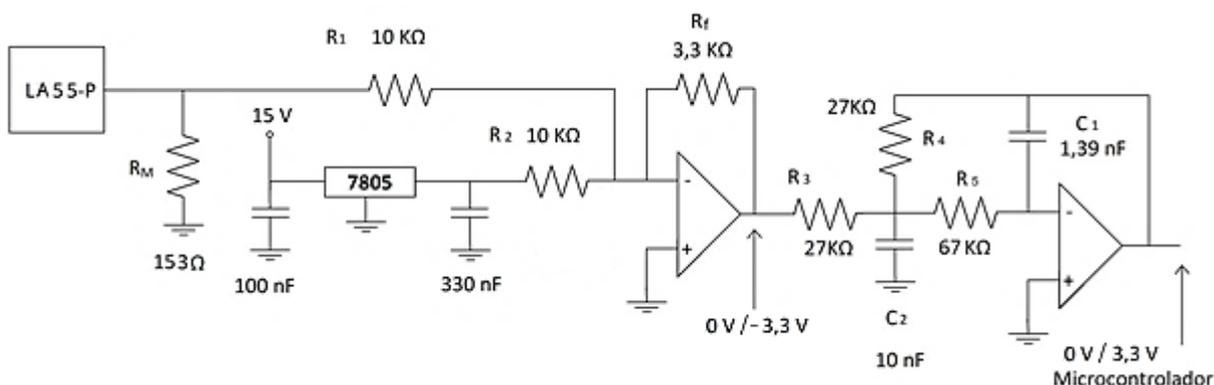


Figura 11 - Esquema do circuito de condicionamento de corrente completo.
Fonte: Autoria própria

4 SIMULAÇÃO.

Após realizado o projeto do circuito de condicionamento dos sensores, foi utilizado o software PSIM, onde foram feitas as simulações necessárias para verificar se os valores dos componentes como resistores e capacitores foram especificados de forma correta para perfeito funcionamento do medidor. Dessa forma, pode-se ver a seguir qual foi o resultado simulado.

Na figura 12, pode-se observar como foi realizada a montagem da primeira parte do circuito de condicionamento, onde podem-se observar os pontos de simulação da tensão do sensor, da tensão do regulador de tensão e da tensão na saída do amplificador operacional funcionando como somador inversor.

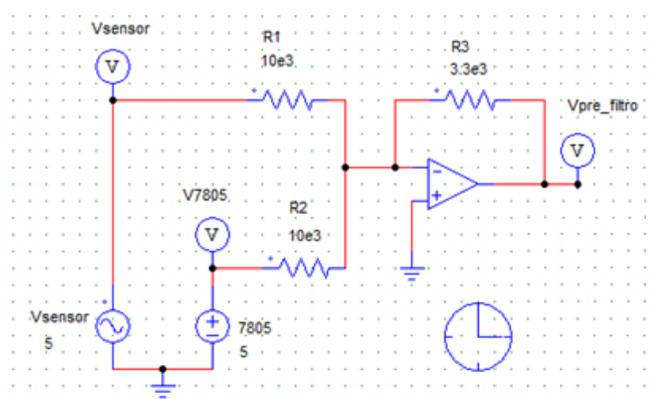


Figura 12 - Simulação do circuito de condicionamento pré AmpOp.
Fonte: Autoria própria

Na figura 13, é possível visualizar as formas de onda da simulação do circuito da figura 12. É possível observar a tensão do sensor (preto), que varia de $-5V$ até $+5V$. Pode-se também observar a tensão na saída do amplificador operacional $0V$ até $-3,3V$ nomeada como $VPre_filtro$ (verde) e a tensão de $5V$ fornecida pelo regulador de tensão (vermelho).

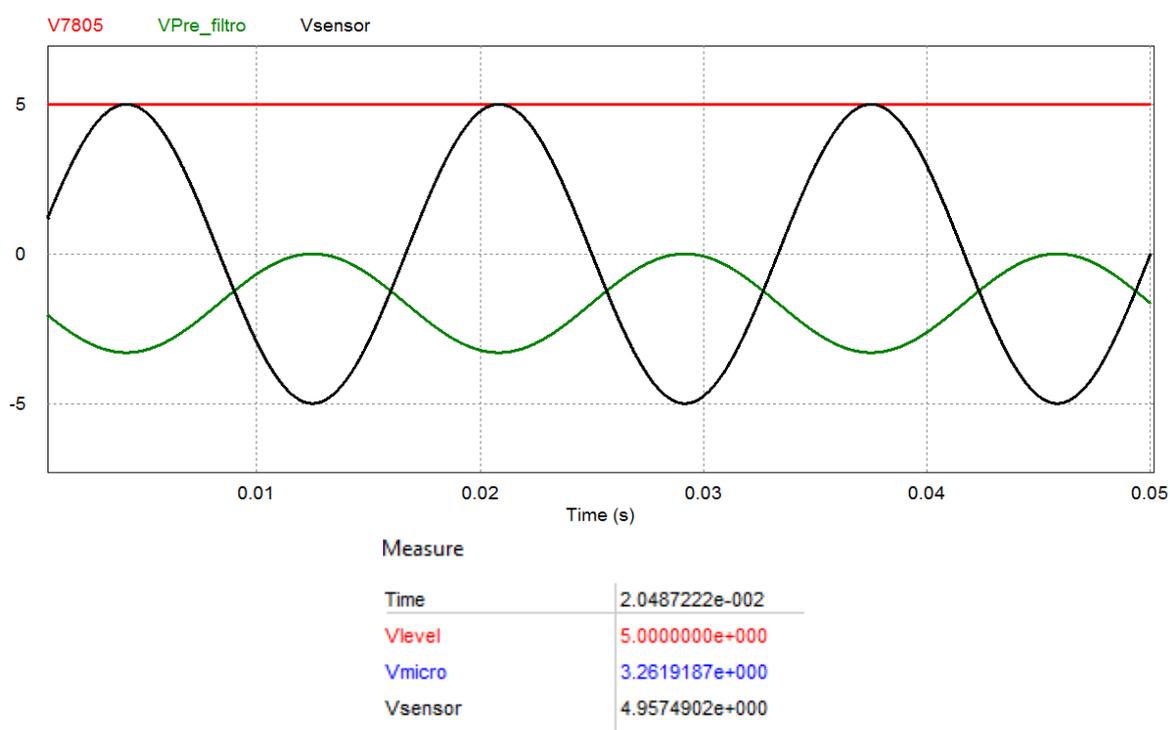


Figura 13 - Senóide das tensões do circuito de condicionamento.
Fonte: Autoria própria

A figura 14 ilustra o valor de tensão na entrada do amplificador operacional que varia de $0V$ a $10V$, como foi explicado no capítulo 2.2.1 deste trabalho.

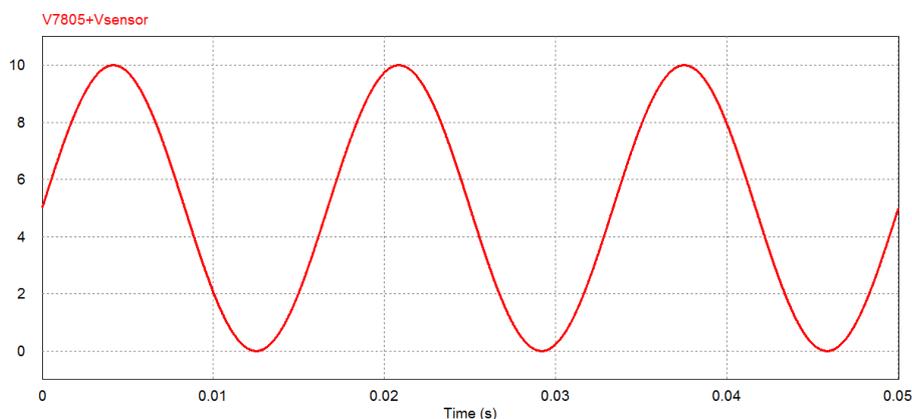


Figura 14 - Simulação da tensão pré-amplificador operacional.
Fonte: Autoria própria

Na figura 15 pode-se visualizar o esquema do circuito de condicionamento completo, com o filtro passa baixa de segunda ordem. Na saída do filtro, o valor de tensão varia de $0V$ até $3,3V$, a qual é compatível com o nível de entrada necessário para o microcontrolador.

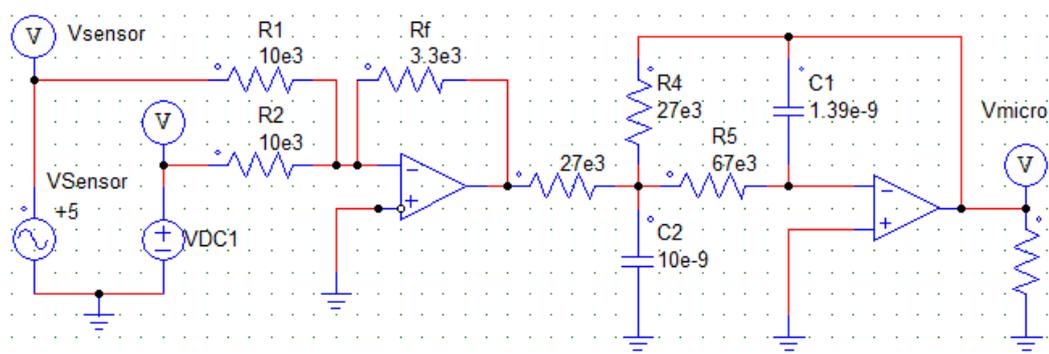


Figura 15 - Simulação do circuito de condicionamento completo.
Fonte: Autoria própria

O resultado simulado do circuito completo pode-se observar na figura 16. Verifica-se a tensão de $5V$ do regulador 7805 (vermelho), a tensão do sensor (preto) e por fim o valor que busca-se desde o início do projeto do circuito de condicionamento, que é a tensão de saída do filtro que varia de $0V$ até $3,3V$, representada na imagem por $Vmicro$ (azul).

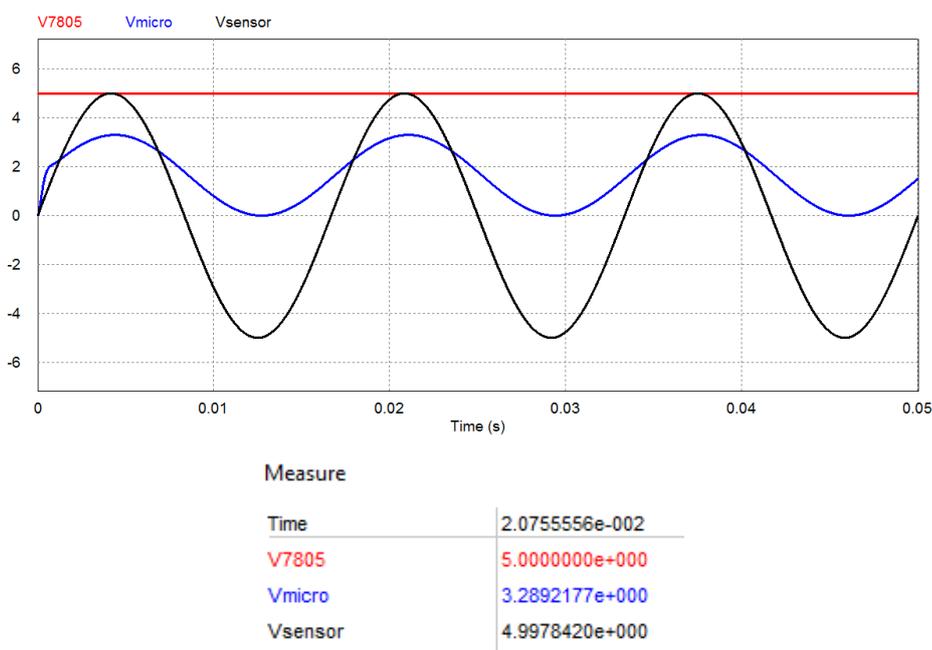


Figura 16 - Sinal de saída do circuito de condicionamento
Fonte: Autoria própria

5 MICROCONTROLADOR TMS320F28027

O principal dispositivo para a elaboração do medidor de consumo de energia elétrica é o microcontrolador. "Um microcontrolador pode efetuar várias funções que necessitariam de um grande número de outros componentes. Assim, aprender a programar microcontroladores significa aprender a resumir circuitos em um único componente" (MARTINS, 2005).

De acordo com Fernandes (2006), a vantagem de se usar um microcontrolador é que o mesmo integra CPU, memórias, portas de entrada e saídas temporizadas em um único chip, deixando o projeto mais simples e robusto.

O microcontrolador será o responsável por processar os sinais fornecidos pelo circuito de condicionamento de tensão e de corrente, e apresentar ao usuário a potência média instantânea, o consumo de energia em kWh e o tempo de uso do equipamento.

5.1 PARTES DO MICROCONTROLADOR

A família F2802x Piccolo de microcontroladores fornece o poder do núcleo C28x™ juntamente com periféricos de controle integrado em dispositivos de *LOW PIN-COUNT*. O microcontrolador possui um regulador de tensão interna que permite a operação com um único barramento, faz modulações HRPWM para permitir o controle *DUAL-EDGE* (modulação de frequência), possui comparadores analógicos com referências internas de 10 bits que podem ser usados diretamente para controlar as saídas PWM e o ADC converte de 0V a 3V e possui sua interface otimizada para baixa sobrecarga e latência. A seguir, uma breve explanação sobre as partes do microcontrolador e seus periféricos.

5.1.1 CPU

A família 2802x é um membro da plataforma microcontrolador TMS320C2000™ (MCU). Tem como característica um mecanismo eficiente C/C++, permitindo que os usuários possam desenvolver não só o seu software de controle

do sistema em uma linguagem de alto nível, mas também o desenvolvimento de algoritmos matemáticos usando C/C++. O dispositivo é tão eficiente em tarefas de matemática que está incluído no controle do sistema tarefas que normalmente são tratadas por dispositivos microcontroladores. Esta eficiência elimina a necessidade de um segundo processador. As capacidades de processamento 32 x 32-bit MAC 64-bit permitem que o programador possa resolver problemas numéricos maiores com mais eficiência.

O dispositivo possui uma *pipeline* protegida de 8 níveis com acesso a memória pipeline. Este pipeline permite que ele seja executado em alta velocidade sem recorrer às caras memórias de alta velocidade.

5.1.2 Barramento de Memória

Vários barramentos são usados para mover dados entre as memórias, os periféricos e a CPU. O microcontrolador da família 2802x utiliza a arquitetura Harvard (figura 17), ou seja, ela possui duas memórias diferentes e independentes em termo de barramento e ligação ao processador, uma memória de dados e outra memória de programa (instruções). Essas duas memórias são conectadas por barramentos distintos, permitindo que o processador possa acessar as duas memórias simultaneamente. Assim o C28x pode buscar uma instrução, ler um valor de dados e escrever um valor de dados em um único ciclo.



Figura 17 - Arquitetura Harvard

Fonte: Diegomacedo.com.br

5.1.3 Memória Flash

A memória flash é tipo de memória EEPROM (Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory). Trata-se de uma memória rápida, não volátil que mantém os dados armazenados sem a necessidade de uma fonte de energia.

O microcontrolador F28027 contém 32K x 16 de memória flash embutido, separados em quatro setores de 8K x 16. Além disso, possui 1K x 16 de memória OTP. O usuário pode apagar, programar e validar um setor da memória flash enquanto deixa os outros setores intocados. No entanto, não é possível utilizar um setor do flash ou o OTP para executar algoritmos de flash que apagam ou programam outros setores.

A memória especial *pipelining* é fornecida para ativar o módulo flash para atingir um melhor desempenho. O flash/OTP é mapeado para ambos os espaços programas e espaço de dados. Portanto, ele pode ser usado para executar um código de dados ou armazenamento de informações.

5.1.4 Blocos de Memórias M0 E M1

O microcontrolador F28027 contém esses dois blocos de memória de acesso único, cada um com 1K x 16 de tamanho. Os blocos M0 e M1, como todos os outros blocos de memória em dispositivos C28x, são mapeados para ambos os espaços de programas e de dados. Assim, o usuário pode usar M0 e M1 para executar código ou para as variáveis de dados. O particionamento é realizado dentro do vinculador. O dispositivo C28x apresenta um mapa de memória unificada para o programador. Isso faz com que a programação seja mais fácil em linguagens de alto nível.

5.1.5 WATCHDOG

Existem dispositivos que não podem ser vigiados constantemente por um ser humano, estes dispositivos precisam ser autossuficientes. Para isto, o microcontrolador f28027 utiliza o *watchdog*.

Watchdog é uma peça de hardware que pode ser usado para detectar automaticamente anomalias *software* e reiniciar o processador. Possui uma grande importância, pois pode resetar o sistema com uma velocidade maior que um operador humano e pode executar a função em dispositivos em que o operador não tem acesso.

O F28027 contém dois *watchdogs*: *CPU-Watchdog*, que monitora o núcleo e *NMI-Watchdog*, que é um circuito-relógio que detecta falhas. O software do usuário deve reiniciar regularmente o contador do *CPU-watchdog* dentro de um determinado período de tempo, caso contrário, a *CPU-Watchdog* reinicia o processador. O *CPU-watchdog* pode ser desativado, se necessário. O *NMI-Watchdog* se envolve apenas em caso de uma falha do clock e pode gerar uma interrupção ou a redefinição do dispositivo.

5.1.6 General-Purpose Input/Output (GPIO)

A maioria dos sinais periféricos é multiplexada com propósito geral de sinais de entrada ou saída. Em reset, os pinos GPIO são configurados como entradas. O usuário pode programar individualmente cada pino para o modo de GPIO ou o modo de sinal periférico. Para entradas específicas, o usuário também pode selecionar o número de ciclos de qualificação de entrada com a finalidade de filtrar falhas causadas por ruídos indesejáveis.

5.1.7 Periféricos de Controle e Comunicação.

O microcontrolador F28027 contém os seguintes periféricos de controle e comunicação:

EPWM (Enhanced Pulse Width Modulation): Usado para fazer controle PWM que através da largura do pulso de uma onda quadrada controla potência ou velocidade;

HRPWM (High Resolution Pulse Width Modulator): Resolução de Largura de Modulação de Pulso em frequências de chaveamento muito mais altas do que as

obtidas com os PWM's padrões. Este recurso permite o uso de indutores e capacitores menores e tem a capacidade de provocar instabilidade e baixo custo.

ECAP (Enhanced Capture Peripheral): Trata-se de um periférico de captura avançado que usa uma base de tempo de 32 bits e registra até quatro eventos programáveis em modos de captura contínua/one-shot. Este periférico também pode ser configurado para gerar um sinal PWM auxiliar.

ADC: O bloco ADC é um conversor Analógico/Digital de 12 bits. Conversores A/D convertem grandezas analógicas para números digitais.

Comparador: Comparadores podem ter suas entradas e sua saída acessadas pelos pinos do microcontrolador. Servem para comparar duas tensões diferentes para gerar uma única saída. Cada bloco comparador consiste de um comparador analógico juntamente com uma referência interna de 10 bits para o fornecimento de uma entrada do comparador.

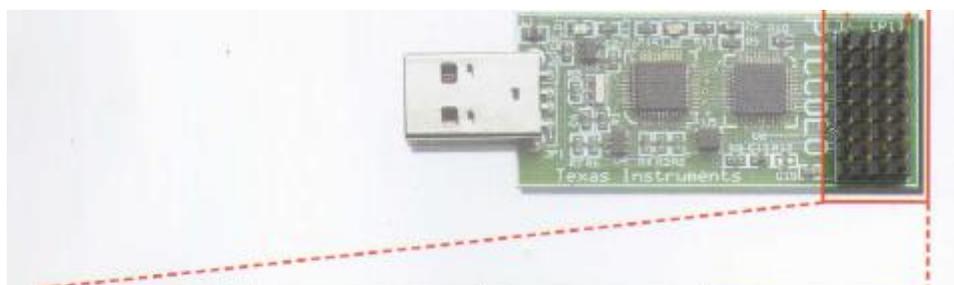
5.1.8 Timers

O timer é um tipo especial de interrupção que é acionado por tempo. Em termos mais específicos, trata-se de um registrador contador que recebe um sinal de clock e conta até certo valor. Uma vez alcançado este valor, ele causa o estouro de timer gerando uma interrupção. O tempo pode ser controlado pelo clock ou pelo valor de contagem.

O microcontrolador F20827 possui os temporizadores 0, 1, e 2 que são temporizadores de 32 bits idênticos, com períodos pré-ajustados e com relógio de 16 bits *prescaling*. Os temporizadores têm um registo de contagem decrescente de 32 bits, o que gera uma interrupção quando o contador chega à zero. O contador é diminuído na velocidade de clock da CPU dividido pela definição do valor de *prescale*. Quando o contador atingir zero, ele é automaticamente recarregado com um valor de período de 32 bits. CPU-Timer 0 é para uso geral e está ligado ao bloco de PIE. O CPU-temporizador 1 também é para uso geral e pode ser conectado a INT13 da CPU. CPU-Timer 2 está reservada para DSP / BIOS. Ele é ligado ao INT14 da CPU. Se DSP/BIOS não está sendo usado, CPU-Timer 2 está disponível para o uso geral.

5.1.9 Pinagem Do Kit De Experimentação TMS320F28027

Na figura 18 pode-se observar a pinagem do kit de experimentação Piccolo™ MCU controlSTICK F28027.



1 ADC-A7	2 ADC-A2 COMP1 (+VE)	3 ADC-A0 Vref-HI	4 3V3
5 ADC-A4 COMP2 (+VE)	6 ADC-B1	7 EPWM-4B GPIO-07	8 TZ1 GPIO-12
9 SCL GPIO-33	10 ADC-B6	11 EPWM-4A GPIO-06	12 ADC-A1
13 SDA GPIO-32	14 ADC-B7	15 EPWM-3B GPIO-05	16 5V0
17 EPWM-1A GPIO-00	18 ADC-B4 COMP2 (-VE)	19 EPWM-3A GPIO-04	20 SPISOMI GPIO-17
21 EPWM-1B GPIO-01	22 ADC-B3	23 EPWM-2B GPIO-03	24 SPISIMO GPIO-16
25 SPISTE GPIO-19	26 ADC-B2 COMP1 (-VE)	27 EPWM-2A GPIO-02	28 GND
29 SPICLK GPIO-18	30 GPIO-34 (LED)	31 PWM1A-DAC (Filtered)	32 GND

Figura 18 - Pinagem Piccolo™ MCU controlSTICK
Fonte: Manual Texas Instruments

5.1.10 Bloco De Periférico De Expansão De Interrupção (Pie)

Uma interrupção é um evento que faz com que o processador pare a execução do programa corrente e desvie a execução para um bloco de código chamado rotina de interrupção. Ao terminar o tratamento de interrupção o controle retorna ao programa interrompido exatamente no mesmo estado em que estava quando ocorreu a interrupção.

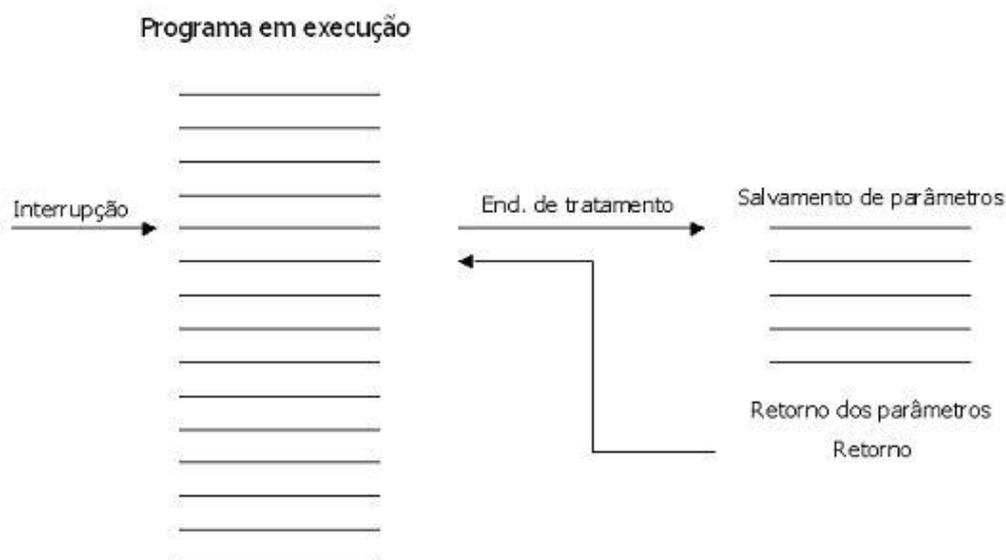


Figura 19 - Bloco de interrupção
Fonte: Kinoshita, Cugnasca e Hirakawa

O bloco PIE serve para multiplexar inúmeras fontes de interrupção em um conjunto menor de entradas de interrupção. O bloco PIE pode suportar até 96 interrupções periféricas. No F2802x, 33 das 96 possíveis interrupções são usados por periféricos. As 96 interrupções são agrupadas em blocos de 8 e cada grupo é alimentado em 1 de 12 linhas de interrupção CPU (INT1 para INT12). Cada uma das 96 interrupções é suportada pelo seu próprio vetor armazenado em um bloco de RAM dedicado que pode ser substituído pelo usuário. O vetor é automaticamente buscado pela CPU no serviço da interrupção. São necessários 8 ciclos de relógio da CPU para buscar o vetor e guardar registros de CPU críticos. Daí a CPU pode responder rapidamente para interromper eventos. A prioridade das interrupções é controlada em hardware e software. Cada interrupção individual pode ser ativada ou desativada dentro do bloco PIE.

Low Pin Count. é usado em PCs para conectar dispositivos com frequência de operação baixa à UCP, tais como a ROM de inicialização e os dispositivos de E/S "herdados".

6 PROGRAMAÇÃO DO MICROCONTROLADOR

Para realizar a programação utilizou-se o software *Code Composer Studio™*. Ele é um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE - Integrated Development Environment) que suporta microcontroladores da Texas Instruments como o Piccolo. O *Code Composer Studio* inclui um conjunto de ferramentas usadas para desenvolver e depurar. Ele inclui no compilador uma otimização C/C++, editor de código fonte, ambiente de construção do projeto, depurador, perfilador, e muitos outros recursos.

Para o desenvolvimento da programação (apêndice A), usou-se algumas variáveis.

Para as variáveis *float* tem-se:

- *Voltage*: utilizada para leitura de tensão;
- *Current*: utilizada para leitura de corrente;
- *Power*: utilizada para cada valor de potência calculado;
- *Sum_power*: Armazena a soma dos 100 valores de potência calculados;
- *Average_power*: é a potência média, ou seja, $sum_power/100$;
- *Energy*: corresponde ao valor de energia em Joule.
- *Energy_kW*: corresponde ao valor de energia em kWh;
- *Volt[100]*: vetor para armazenar os 100 valores de tensão medidos;
- *Curr[100]*: vetor para armazenar os 100 valores de corrente medidos;
- *Pow[100]*: vetor para armazenar os 100 valores *power* calculados.

Para as variáveis *int* tem-se:

- *Inc*: corresponde ao número de incrementos
- *Mult*: tempo de funcionamento do medidor em segundos.

Na figura 20, pode-se observar as variáveis utilizadas na programação

```

6
7 // VARIÁVEIS
8 float voltage, current, power, sum_power, average_power, energy, energy_kW, Volt[100], Curr[100], Pow[100];
9 int inc, mult;

```

Figura 20 - Variáveis da programação
Fonte: Autoria própria.

Para conseguir fazer o cálculo de consumo de energia, fez-se a leitura de 100 valores de tensão da rede e 100 valores de corrente. Essas leituras foram feitas em um período da rede que corresponde a 16,66 milissegundos, que é o tempo definido para a aquisição de dados. Esse tempo foi configurado na linha 61 da programação com o valor 141 μ s (ver figura 21). Essa temporização é que possibilitou rodar o algoritmo que faz as 100 amostragens de tensão e corrente em 16,66 milissegundos. Dessa forma, tem-se o período com o tempo necessário, como mostra a figura 22. Após isso o programa multiplica os respectivos valores de tensão e de corrente (figura 23) e depois calcula a potência média.

```

58
59 // CONFIGURA CPU Timer
60 ConfigCpuTimer(&CpuTimer0, 60, 1000); //temporização base de 1ms
61 ConfigCpuTimer(&CpuTimer1, 60, 141); //temporização para 100 amostragens de potência

```

Figura 21 - Configuração do tempo de aquisição de dados
Fonte: Autoria própria

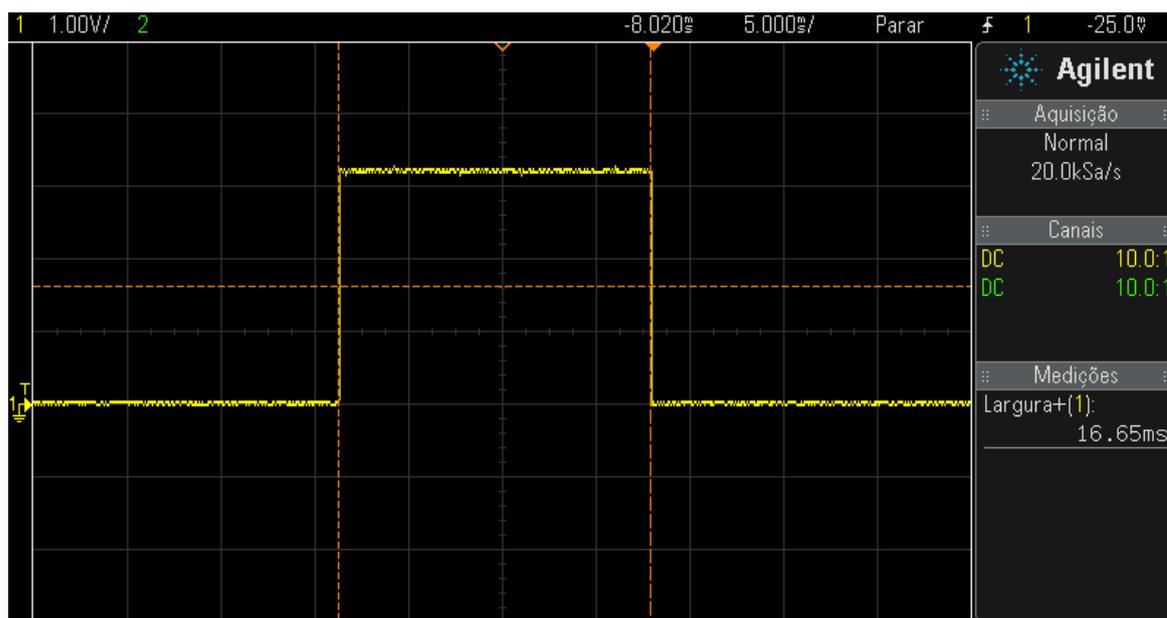


Figura 22 - Tempo de aquisição de dados
Fonte: Autoria própria

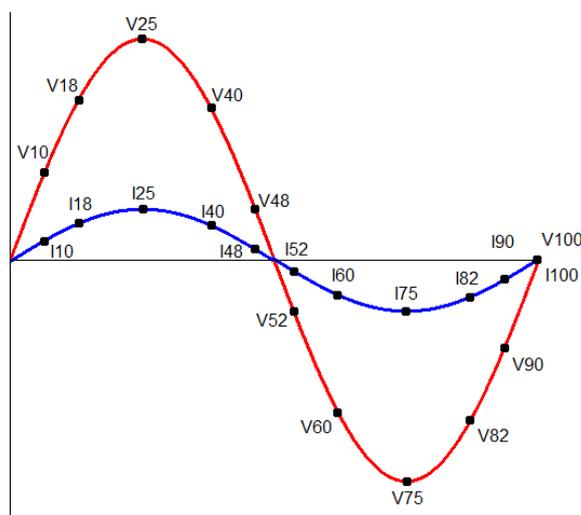


Figura 23 - Pontos de aquisição de dados de tensão e corrente
Fonte: Autoria própria

A etapa de leitura dos valores de tensão e de corrente está dentro da estrutura de repetição *while(1)*. Dentro da estrutura de repetição citada, tem o loop *for*, que é responsável por fazer as 100 leituras dos sinais de tensão e de corrente. As 100 leituras são feitas a cada um segundo.

Dentro do loop *for* também é feito o cálculo de potência (*power*). Logo após os valores de potência, são somados e armazenados na variável *sum_power*. Dentro do loop *for* os valores de tensão, de corrente e de potência são armazenados nos respectivos vetores *Volt[100]*, *Curr[100]* e *Pow[100]* para que seja possível plotar os gráficos com as senóides.

Após sair do loop *for*, o programa faz o cálculo da potência média (*average_power*) e calcula a energia em joule (*Potência x Segundo*). Para obter a energia em kWh, basta dividir o valor de energia em joule por 1000×3600 , onde 1000 é responsável por fazer o valor ficar em kW e 3600 que é responsável por deixar o valor em hora.

Através da figura 24 é possível observar a estrutura de repetição *while(1)* bem como o loop *for*.

```

70 while(1)
71 {
72     power = 0;
73     sum_power = 0;
74     for (inc = 0; inc < 100; inc++)
75     {
76         GpioDataRegs.GPBSET.bit.GPIO34 = 1;           //apaga o led.//
77         // AQUISIÇÕES
78         //Força SOCO para 1
79         AdcRegs.ADCSOCFR1.bit.SOC0 = 1;
80         //Espera o fim da conversão
81         while(AdcRegs.ADCINTFLG.bit.ADCINT1 == 0){} //Espera por ADCINT1
82         AdcRegs.ADCINTFLGCLR.bit.ADCINT1 = 1;       //Limpa ADCINT1
83         voltage = (AdcResult.ADCRESULT0-2047.0)/4095.0*2.0*180.0; //Leitura de tensão
84         //Força SOCI para 1
85         AdcRegs.ADCSOCFR1.bit.SOC1 = 1;
86         //Espera o fim da conversão
87         while(AdcRegs.ADCINTFLG.bit.ADCINT2 == 0){} //Espera por ADCINT2
88         AdcRegs.ADCINTFLGCLR.bit.ADCINT2 = 1;       //Limpa ADCINT2
89         current = (AdcResult.ADCRESULT1-2047.0)/4095.0*20.0;
90         power = (voltage*current); //faz o calculo da potencia
91         sum_power = sum_power + power; //Soma dos 100 valores de potência lidos.
92         convert();
93         Volt[inc] = voltage; //Vetor que armazena cada valor de tensão.
94         Curr[inc] = current; //Vetor que armazena cada valor de corrente.
95         Pow[inc] = power; //Vetor que armazena cada valor de potência
96     }
97     GpioDataRegs.GPBCLEAR.bit.GPIO34 = 1;           //acende led.
98     mult = mult + 1; //Corresponde ao tempo de medição.
99     average_power = sum_power / 100; //faz o calculo da potencia media.
100    energy = energy + average_power; //faz o calculo de energia em joule.
101    energy_kW = energy / 3600000; //faz o calculo de energia em kW/h.
102    tempo(983);
103 }
104 }
105 }
106

```

Figura 24 - While(1) programação
Fonte: Autoria própria

Nas linhas 44 e 45 da programação, define-se o pino 6 (ADC-B1) do kit de experimentação para receber o sinal de tensão e o pino 10 (ADC-B6) para receber o sinal de corrente, como mostra a figura 25. Esses pinos podem ser localizados na figura 18.

```

44 AdcRegs.ADCSOC0CTL.all = 0x246; //Canal ADC-B1
45 AdcRegs.ADCSOC1CTL.all = 0x386; //Canal ADC-B6

```

Figura 25 – Configuração dos pinos ADC
Fonte: Autoria própria

7 RESULTADO EXPERIMENTAL

Após todo o projeto e a etapa de simulação concluída, deu-se início à etapa de montagem do medidor de consumo de energia elétrica proposto. Primeiramente foi construído o circuito de condicionamento de tensão no protoboard para fazer os testes práticos. Para realizar o experimento, foi utilizada uma fonte de tensão (figura 26) responsável por fornecer $-15V$ e $+15V$ necessária para alimentar o sensor e

também o LM324. Utilizamos também um osciloscópio (figura 26) para visualizar a forma de onda e fazer as medições necessárias.



Figura 26 - Fonte de tensão e osciloscópio
Fonte: Autoria própria

7.1 TESTES NO CIRCUITO DE CONDICIONAMENTO DE TENSÃO.

Alimentou-se o LV25-P e o LM324 com tensão alternada de 15V e utilizou-se o osciloscópio para verificar a forma de onda e os valores das tensões do circuito. Mediu-se a tensão em alguns pontos e obtiveram-se os seguintes resultados:

Tensão de saída do sensor LV25-P: $-4,69V$ a $+4,7V$, como pode-se observar na figura 27.

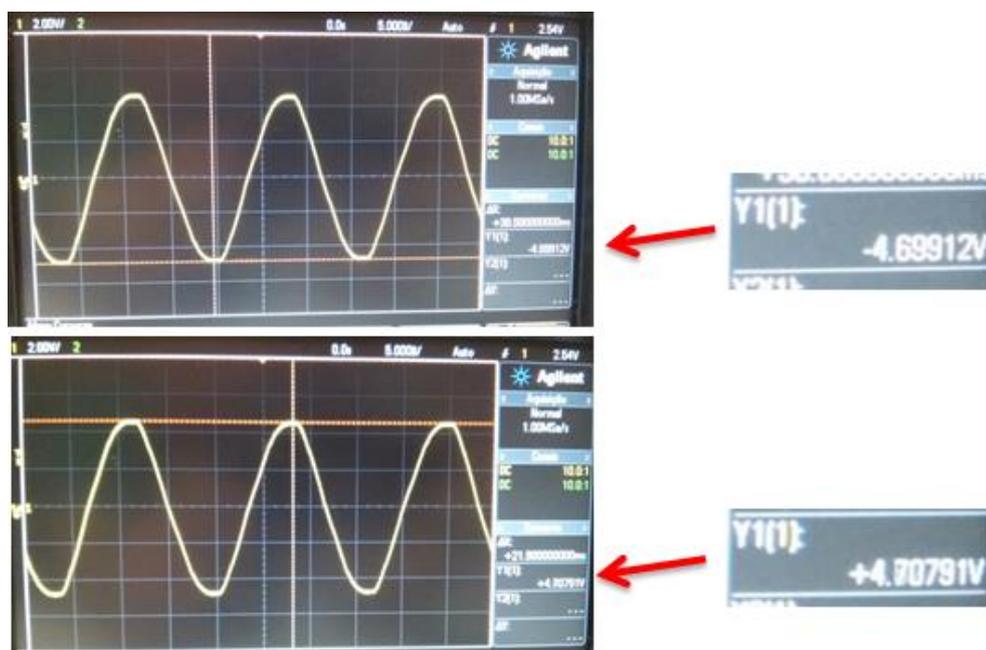


Figura 27 - Tensão de saída do sensor de tensão.
Fonte: Autoria própria

A tensão na saída do circuito de condicionamento foi de 90mV a $3,22\text{V}$, como pode-se observar na figura 28.

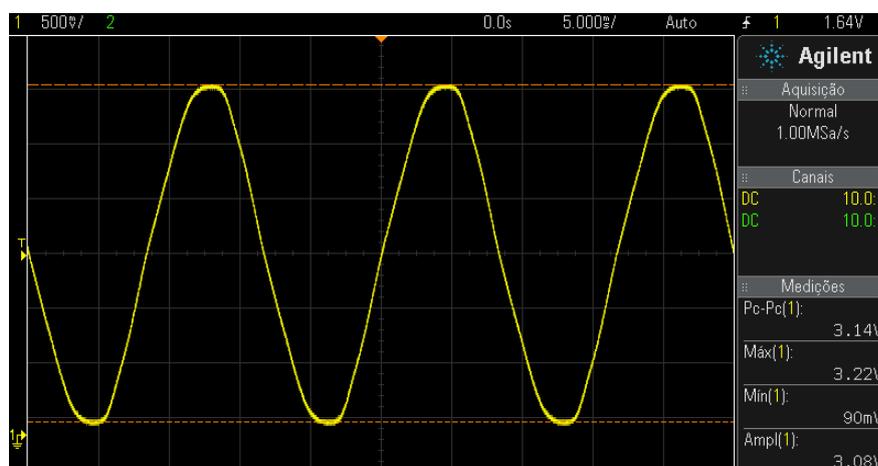


Figura 28 - Tensão de saída do circuito de condicionamento de tensão
Fonte: Autoria própria

Os resultados foram próximos do esperado, que era de 0 a $3,3\text{V}$ de saída do circuito de condicionamento de tensão.

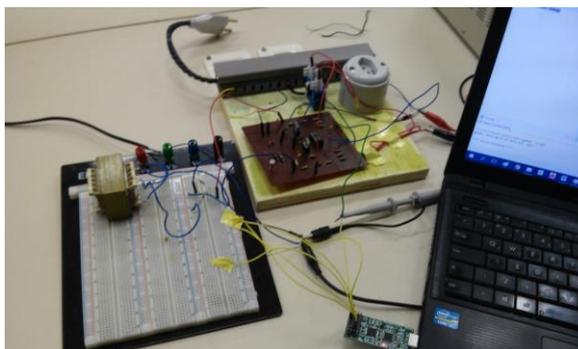


Figura 29 - Testes do medidor
Fonte: Autoria própria

7.2 TESTES NO CIRCUITO DE CONDICIONAMENTO DE CORRENTE.

O segundo experimento foi construir o circuito de condicionamento de corrente com o sensor de corrente LA55-P.

Da mesma maneira que o primeiro circuito alimentou-se o LA55-P e o LM324 com tensão de -15V e $+15\text{V}$. Utilizou-se o osciloscópio para verificar a forma de onda e os valores das tensões do circuito.

Para testar o circuito, foi utilizado como carga um ferro de passar roupa com 1200W de potência e foi feita a medição da tensão de pico de saída. O resultado foi

de $460mV$ a $2,93V$, próximo do esperado de $3,3V$, como pode-se observar na figura 30.

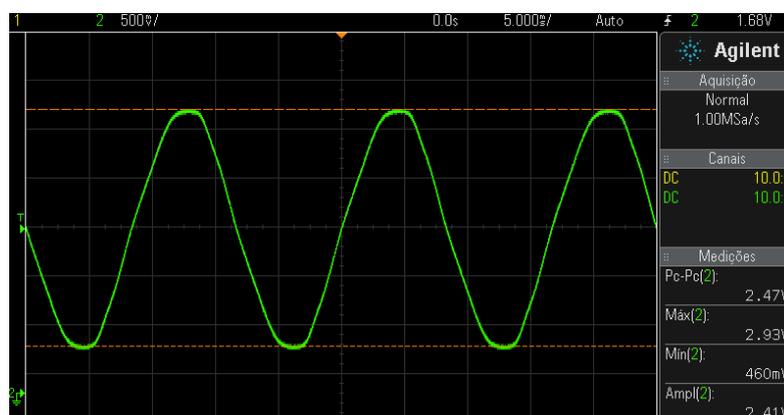


Figura 30 - Tensão na saída do circuito de condicionamento de corrente
Fonte: Autoria própria

7.3 CONFECÇÃO DA PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO.

Após os testes, usando o software Eagle foi desenvolvido o layout da placa (figura 31) para fazer os circuitos de condicionamento. Logo após foi feito todos os processos para a montagem da placa como impressão do circuito, corrosão e perfuração da placa e soldagens dos componentes. Com ela pronta foi medido as tensões de saída dos circuitos novamente e os resultados obtidos foram os mesmos.

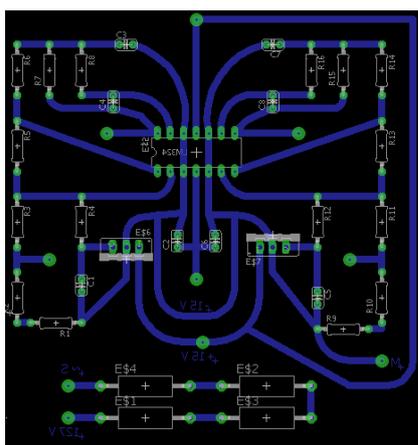


Figura 31 - Layout da placa de circuito impresso
Fonte: Autoria própria

7.4 TESTES COM KIT PICCOLO™ MCU controlSTICK F28027

Como última parte do teste, conectou-se os pinos de saída dos circuitos de condicionamento de tensão e de corrente nos pinos ADC-B1 e ADC-B6 do kit, para fazer as medições e leituras finais.

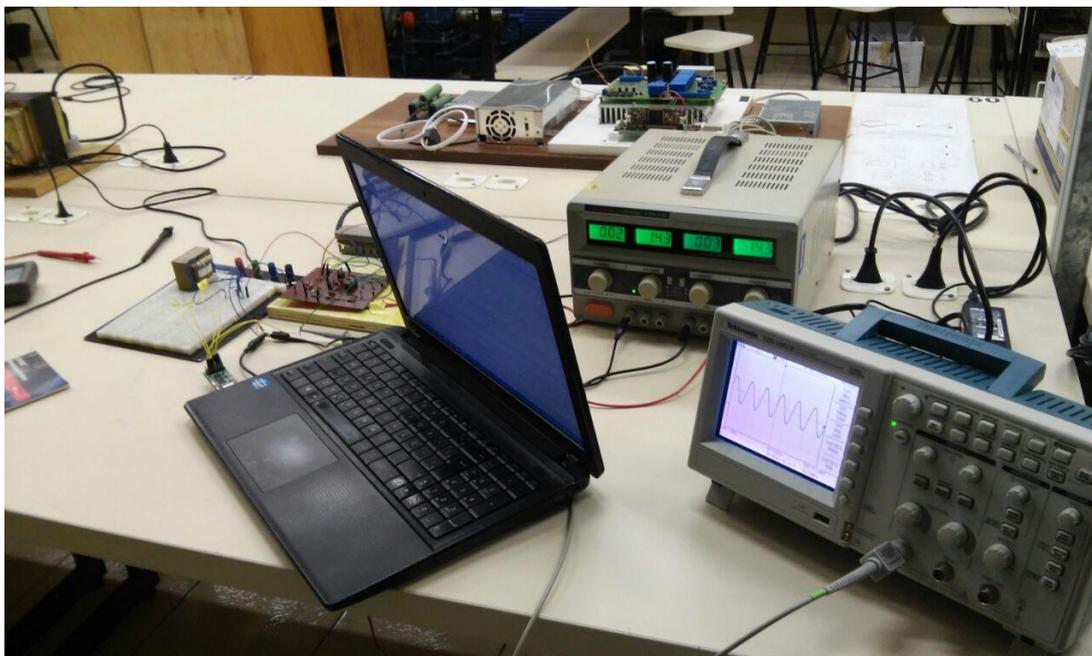


Figura 32 - Teste final
Fonte: Autoria própria

Com a programação pronta, o microcontrolador fez a leitura dos sinais de tensão e corrente e calculou a potência média e o consumo de energia. Todas as leituras foram obtidas através do *Code Composer*, onde foi realizada toda a programação.

Para este teste, foi utilizada uma carga de aproximadamente 18Ω e uma tensão de rede de $127V$. Dessa forma, a corrente ficou em $7A$. Utilizando a equação 10, calcula-se o valor de potência.

$$P = V \times I \quad (10)$$

$$P = 127 \times 7$$

$$P = 889W$$

Os gráficos dos valores de tensão (figura 33) e de corrente (figura 34) medidos, foram obtidos a partir do *Code Composer* utilizando o vetor Volt[100] e o vetor Curr[100], respectivamente.

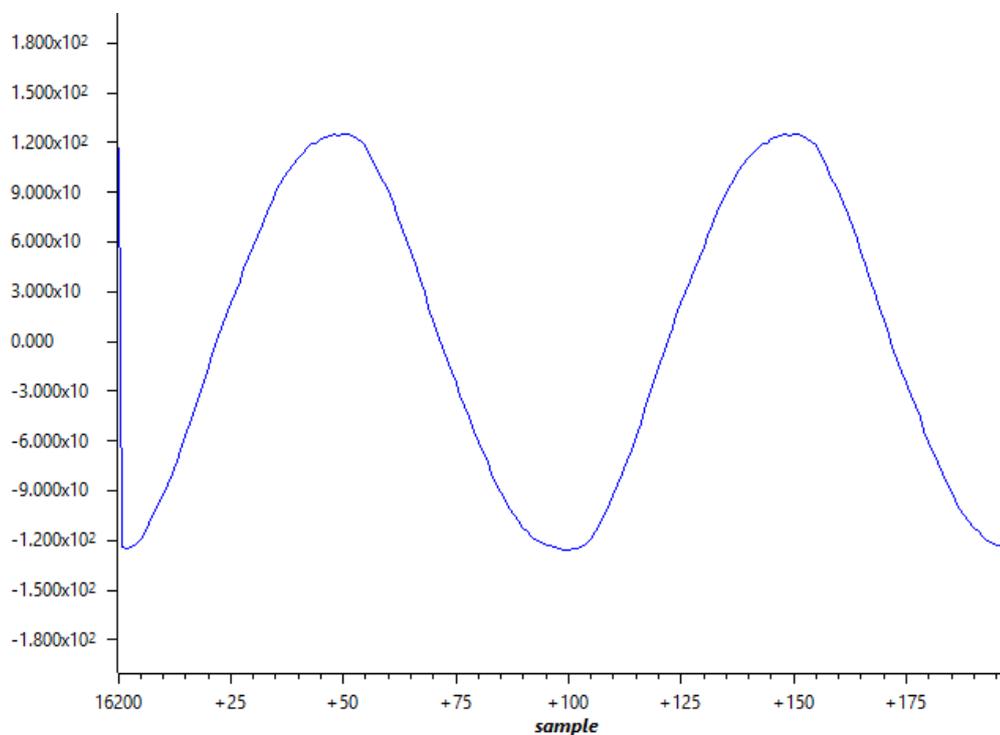


Figura 33 - Gráfico de tensão
Fonte: Autoria própria

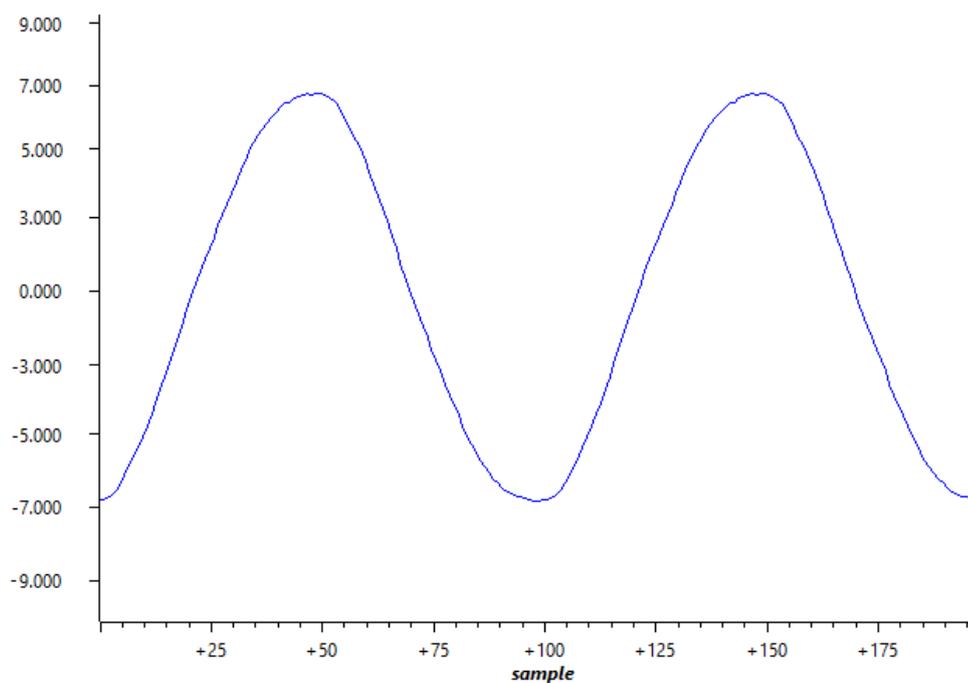


Figura 34 - Gráfico de corrente
Fonte: Autoria própria

Na figura 35 visualiza-se os resultados obtidos através do *Code Composer*. Como visto anteriormente, o valor calculado de potência é de $889W$. A seguir, visualiza-se o valor medido que é de $903W$, que fica bem próximo do calculado.

Expression	Type	Value	Address
(x)- current	float	7.44244	0x00008826@Data
(x)- voltage	float	127.6557	0x0000881C@Data
(x)- power	float	2226.627	0x00008820@Data
(x)- sum_power	float	90326.5	0x00008824@Data
(x)- average_power	float	903.265	0x00008828@Data
(x)- energy	float	601965.6	0x0000881E@Data
(x)- energy_kW	float	0.1672127	0x00008822@Data
(x)- mult	int	623	0x00008819@Data
+ Add new expression			

Figura 35 - Valores medidos e calculados
Fonte: Autoria própria

Na figura 36 pode-se observar o esquema eletrônico do medidor de consumo de energia microcontrolado. Nele pode-se observar a ligação dos sensores e todo o esquema do circuito de condicionamento de sinais dos sensores de tensão e de corrente. Após, os sinais passam pelo microcontrolador que está no kit *Piccolo* e por fim os resultados finais são apresentados.

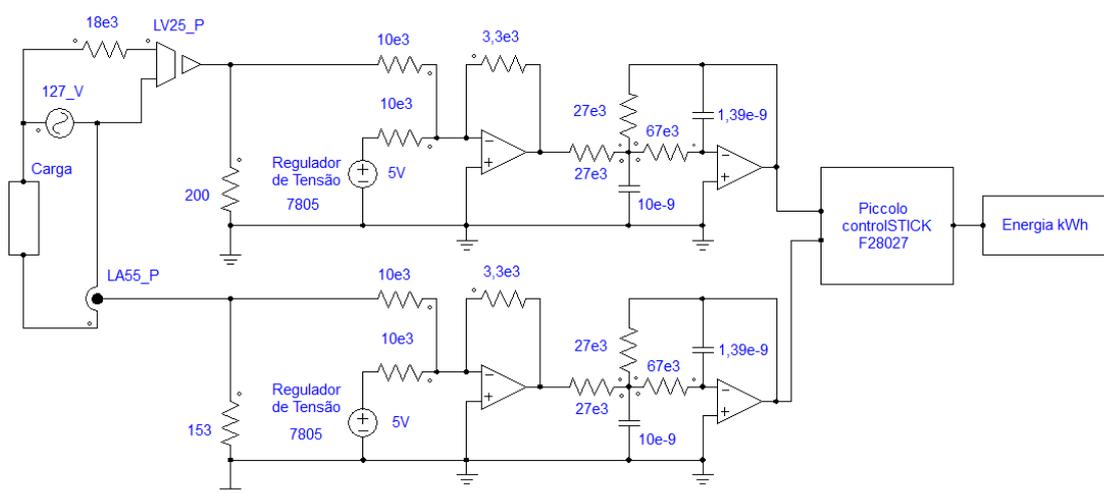


Figura 36 - Diagrama eletrônico do medidor.
Fonte: Autoria própria

CONCLUSÃO

Ao fim deste trabalho, foi possível encontrar aspectos positivos, como aprendizado acadêmico, a implementação de conhecimentos adquiridos de eletrônica de potência, eletricidade, eletrônica digital, sistemas microcontrolados e o desenvolvimento de um circuito que mescla várias áreas do curso.

O objetivo principal do trabalho foi alcançado, que é a construção de um medidor de consumo de energia. Por se tratar de um circuito de medição, encontrou-se dificuldade em seu desenvolvimento, pois quaisquer alterações nos sinais como ruídos e mau contato ocasionavam erros no resultado final.

Como produto final do trabalho, chegou-se a um sistema eletrônico que a partir de sinais de sensores e um microcontrolador pode exibir a potência média do aparelho, o consumo de energia em kWh e o tempo de utilização.

Foram realizados testes no medidor com aparelhos e cargas resistivas e os resultados foram próximos do esperado. Nesta etapa, foi notada a facilidade na compreensão do funcionamento e no seu manuseio.

Assim, conclui-se que o medidor pode se tornar uma ferramenta útil para residências, comércios e até indústrias onde a necessidade de economia de energia está em alta, pois o mesmo mostrou eficaz em cumprir sua função.

REFERÊNCIAS

PERTENCE JUNIOR, A. **Amplificadores Operacionais e Filtros Ativos**. 7^o ed. São Paulo: 2011. Tenké, 324 páginas.

DIONÍSIO, B. **Mesmo com economia, paranaense não consegue reduzir conta de luz**. Disponível em: <<http://g1.globo.com/pr/parana/noticia/2015/08/mesmo-com-economia-paranaense-nao-consegue-reduzir-conta-de-luz.html>>. Acesso em 07 de outubro de 2015.

FERNANDES, P.G.G. **Medidor eletrônico de consumo de energia elétrica**. Disponível em <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10002468.pdf>>. Acesso em 07 de Outubro de 2015.

FERREIRA, A. R., TOMIOKA, J., FACO J. F.B. **Impactos ambientais e econômicos com o uso de iluminação do estado sólido aplicados ao setor residencial**. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2014_TN_STP_195_101_25209.pdf>. Acesso em 13 de Outubro de 2015.

FERREIRA, Josiane Ferreira. **Análise de Formas de Medição de Consumo de Energia Elétrica no Setor Residencial**. Disponível em: <<http://www.cin.ufpe.br/~tg/2012-1/jbf2.pdf>>. Acesso em 07 de Outubro de 2015.

LAGÔA, T. **Indústria paga, em média, 23,4% a mais**. Disponível em <<http://www.diariodocomercio.com.br/noticia.php?id=150390>>. Acesso em 9 de Outubro de 2015.

MALVINO, Albert Paul. **Eletrônica**. Vol. 2. 4^a ed. São Paulo: Pearson.

LISITA, L.R., MACHADO, P.C., NERYS W.L., et al. **Desempenho dos medidores monofásicos de energia dos tipos eletrônico e de indução**. Disponível em <http://www.osetoreletrico.com.br/web/documentos/Outros/Ed63_aula_pratica_medicao.pdf>. Acesso em 6 de Outubro de 2015.

MARTINS, Nardêncio Almeida. **Sistemas Microcontrolados: Uma Abordagem como o Microcontrolador PIC 16F84**. Disponível em: <<http://www.martinsfontes paulista.com.br/anexos/produtos/capitulos/203289.pdf>>. Acesso em 06 de Outubro de 2015.

PAULA, Gilberto José. **Medidor de energia elétrica residencial com acesso remoto**. Disponível em: <http://www.repositorio.uniceub.br/bitstream/235/3857/1/Gilberto%20Jos%C3%A9%20De%20Paula%20Monografia%201_2013.pdf>. Acesso em 7 de Outubro de 2015.

SILVA, L. A., NEVES, A. N. **Eficiência energética: o investimento necessário para a indústria.** Disponível em <<http://www.osestoreletrico.com.br/web/a-empresa/1682-eficiencia-energetica-o-investimento-necessario-para-a-industria.html>>. Acesso em 9 de Outubro de 2015.

SILVA, R.L., DIAS, R.A., GIANESINI, M.A., et al. **Medidor eletrônico de energia de baixo custo compatível com a norma NBR 14522.** Disponível em <<http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2007/artigos/170-Rafael%20Luiz%20da%20Silva.pdf>>. Acesso em 07 de Outubro de 2014.

SOARES, G., TOSTES, M.E., SOARES, T. **Melhor aproveitamento da energia elétrica na indústria.** Disponível em <<http://www.osestoreletrico.com.br/web/a-empresa/1501-melhor-aproveitamento-da-energia-eletrica-na-industria.html>>. Acesso em 11 de Outubro de 2015.

G1 São Paulo. **Custo de energia para a indústria no Brasil sobe em lista mundial, diz Firjan.** Disponível em: <<http://g1.globo.com/economia/noticia/2015/03/custo-de-energia-para-industria-no-brasil-sobe-em-lista-mundial-diz-firjan.html>>. Acesso em 11 de outubro de 2015.

MACEDO, D. **Arquitetura: Von Neumann Vs Harvard.** Disponível em: <<http://www.diegomacedo.com.br/arquitetura-von-neumann-vs-harvard/>> Acesso em 10 de abril de 2016.

HAMMERSCHMIDT, R. **O que é memória Flash?.** Disponível em: <<http://www.tecmundo.com.br/hardware/198-o-que-e-memoria-flash-.htm>> Acesso em 10 de abril de 2016.

BARR, M. **Introduction to Watchdog Timers.** Disponível em: <<http://www.embedded.com/electronics-blogs/beginner-s-corner/4023849Introduction-to-Watchdog-Timers>>. Acesso em 10 de abril de 2016.

ELETRONICS, M. **Periféricos independentes do núcleo Microchip Technology.** Disponível em: <<http://br.mouser.com/new/microchip/microchip-core-peripherals/>>. Acesso em 10 de abril de 2016.

PINHEIRO, A.P. **Interrupções e timers.** Disponível em: <http://www.alan.eng.br/disc_microprocessadores/pratica3_timers.pdf>. Acesso em 10 de abril de 2016.

BORBA, G. **Microcontroladores – noções gerais.** Disponível em: <http://paginapessoal.utfpr.edu.br/gustavobborba/material/files/mc_nocoasGerais.pdf>. Acesso em 10 de abril de 2016.

ELECTRONICS, D. **LEM-USA-Inc. LV-25-P** Disponível em: <<http://media.digikey.com/photos/LEM%20Photos/LV%2025-P.jpg>>. Acesso em 10 de abril de 2016. Acesso em 10 de abril de 2016.

OCTOPART. **LEM LA 55-P**. Disponível em: <<http://sigma.octopart.com/8358659/image/LEM-LA55-P.jpg>>. Acesso em 10 de abril de 2016. Acesso em 10 de abril de 2016.

GARAGE, E. **IC LM324**. Disponível em: <<http://www.engineersgarage.com/electronic-components/lm324n-datasheet>>. Acesso em 10 de abril de 2016. Acesso em 10 de abril de 2016.

ANEXO A - Datasheet do Sensor de Tensão LV25-P.



Voltage Transducer LV 25-P

For the electronic measurement of currents: DC, AC, pulsed..., with galvanic isolation between the primary circuit and the secondary circuit.



Electrical data

I_{PN}	Primary nominal current rms	10	mA			
I_{PM}	Primary current, measuring range	0 .. ± 14	mA			
R_M	Measuring resistance	with ± 12 V	@ ± 10 mA _{max}	R_{Mmin}	R_{Mmax}	
			@ ± 14 mA _{max}	30	190	Ω
		with ± 15 V	@ ± 10 mA _{max}	30	100	Ω
			@ ± 14 mA _{max}	100	350	Ω
			@ ± 14 mA _{max}	100	190	Ω
I_{SN}	Secondary nominal current rms	25	mA			
K_N	Conversion ratio	2500 : 1000				
V_C	Supply voltage (± 5 %)	± 12 .. 15	V			
I_C	Current consumption	10 (@ ± 15 V) + I_B	mA			

Accuracy - Dynamic performance data

X_G	Overall accuracy @ I_{PN} , $T_A = 25^\circ\text{C}$	@ ± 12 .. 15 V	± 0.9	%	
		@ ± 15 V (± 5 %)	± 0.8	%	
ϵ_L	Linearity error		< 0.2	%	
I_O	Offset current @ $I_p = 0$, $T_A = 25^\circ\text{C}$		Typ	Max	
I_{OT}	Temperature variation of I_O	0° C .. + 25° C	± 0.06	± 0.25	mA
		+ 25° C .. + 70° C	± 0.10	± 0.35	mA
			40		μs
t_r	Response time ¹⁾ to 90 % of I_{PN} step				

General data

T_A	Ambient operating temperature	0 .. + 70	°C	
T_S	Ambient storage temperature	- 25 .. + 85	°C	
R_p	Primary coil resistance	@ $T_A = 70^\circ\text{C}$	250	Ω
R_s	Secondary coil resistance	@ $T_A = 70^\circ\text{C}$	110	Ω
m	Mass		22	g
	Standard		EN 50178: 1997	

Note: ¹⁾ $R_i = 25 \text{ k}\Omega$ (L/R constant, produced by the resistance and inductance of the primary circuit).

$$I_{PN} = 10 \text{ mA}$$

$$V_{PN} = 10 \dots 500 \text{ V}$$



Features

- Closed loop (compensated) current transducer using the Hall effect
- Isolated plastic case recognized according to UL 94-V0.

Principle of use

- For voltage measurements, a current proportional to the measured voltage must be passed through an external resistor R_i which is selected by the user and installed in series with the primary circuit of the transducer.

Advantages

- Excellent accuracy
- Very good linearity
- Low thermal drift
- Low response time
- High bandwidth
- High immunity to external interference
- Low disturbance in common mode.

Applications

- AC variable speed drives and servo motor drives
- Static converters for DC motor drives
- Battery supplied applications
- Uninterruptible Power Supplies (UPS)
- Power supplies for welding applications.

Application domain

- Industrial.



Voltage Transducer LV 25-P

Isolation characteristics

V_d	Rms voltage for AC insulation test, 50 Hz, 1 min	2.5 ¹⁾	kV
\hat{V}_w	Impulse withstand voltage 1.2/50 μ s	16	kV
		Min	
dCp	Creepage distance	19.5	mm
dCl	Clearance	19.5	mm
CTI	Comparative Tracking Index (group IIIa)	175	

Note: ¹⁾ Between primary and secondary.

Applications examples

According to EN 50178 and IEC 61010-1 standards and following conditions:

- Over voltage category OV 3
- Pollution degree PD2
- Non-uniform field

	EN 50178	IEC 61010-1
dCp, dCl, \hat{V}_w	Rated insulation voltage	Nominal voltage
Basic insulation	1600 V	1600 V
Reinforced insulation	800 V	800 V

Safety



This transducer must be used in electric/electronic equipment with respect to applicable standards and safety requirements in accordance with the manufacturer's operating instructions.



Caution, risk of electrical shock

When operating the transducer, certain parts of the module can carry hazardous voltage (eg. primary busbar, power supply).

Ignoring this warning can lead to injury and/or cause serious damage.

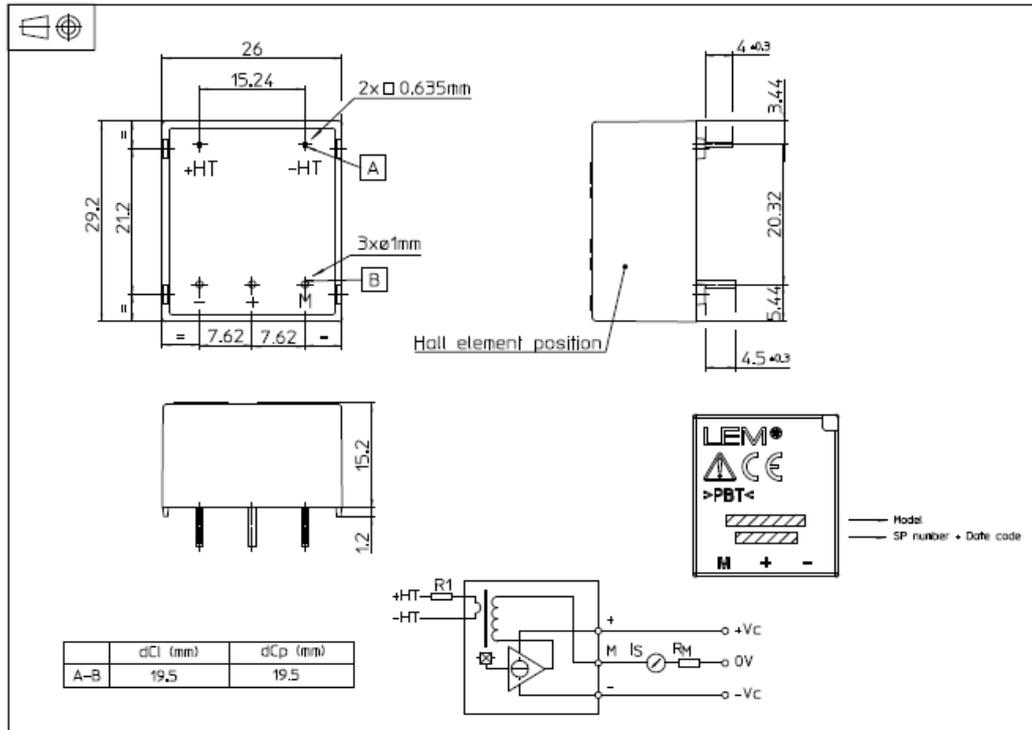
This transducer is a build-in device, whose conducting parts must be inaccessible after installation.

A protective housing or additional shield could be used.

Main supply must be able to be disconnected.



Dimensions LV 25-P (in mm)



Mechanical characteristics

- General tolerance $\pm 0.2 \text{ mm}$
- Fastening & connection of primary 2 pins $0.635 \times 0.635 \text{ mm}$
- Fastening & connection of secondary 3 pins $\varnothing 1 \text{ mm}$
- Recommended PCB hole $\varnothing 1.2 \text{ mm}$

Remarks

- I_S is positive when V_p is applied on terminal + HT.
- This is a standard model. For different versions (supply voltages, turns ratios, unidirectional measurements...), please contact us.

Instructions for use of the voltage transducer model LV 25-P

Primary resistor R_1 : the transducer's optimum accuracy is obtained at the nominal primary current. As far as possible, R_1 should be calculated so that the nominal voltage to be measured corresponds to a primary current of 10 mA.

Example: Voltage to be measured $V_{PN} = 250 \text{ V}$

a) $R_1 = 25 \text{ k}\Omega / 2.5 \text{ W}$, $I_p = 10 \text{ mA}$ Accuracy = $\pm 0.9 \%$ of V_{PN} (@ $T_A = +25^\circ\text{C}$)

b) $R_1 = 50 \text{ k}\Omega / 1.25 \text{ W}$, $I_p = 5 \text{ mA}$ Accuracy = $\pm 1.5 \%$ of V_{PN} (@ $T_A = +25^\circ\text{C}$)

Operating range (recommended): taking into account the resistance of the primary windings (which must remain low compared to R_1 , in order to keep thermal deviation as low as possible) and the isolation, this transducer is suitable for measuring nominal voltages from 10 to 500 V.

Figura 39 - Datasheet LV25-P página 3/3
Fonte: LEM.

ANEXO B - Datasheet do Sensor de Corrente LA55-P.

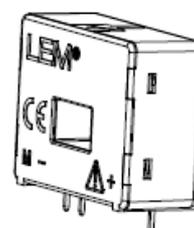


Current Transducer LA 55-P

For the electronic measurement of currents: DC, AC, pulsed..., with galvanic isolation between the primary circuit (high power) and the secondary circuit (electronic circuit).



16019

 $I_{PN} = 50 \text{ A}$


Electrical data

I_{PN}	Primary nominal current rms	50	A		
I_{PM}	Primary current, measuring range	0 .. ± 70	A		
R_M	Measuring resistance	$T_A = 70^\circ\text{C}$			
		R_{Mmin}	R_{Mmax}		
		with $\pm 12 \text{ V}$	@ $\pm 50 \text{ A}_{max}$	10	100
			@ $\pm 70 \text{ A}_{max}$	10	50
	with $\pm 15 \text{ V}$	@ $\pm 50 \text{ A}_{max}$	50	160	
		@ $\pm 70 \text{ A}_{max}$	50	90	
		$T_A = 85^\circ\text{C}$			
		R_{Mmin}	R_{Mmax}		
		60 ¹⁾	60 ¹⁾		
		135	155		
		135 ²⁾	135 ²⁾		
I_{SN}	Secondary nominal current rms	50	mA		
K_N	Conversion ratio	1 : 1000			
V_C	Supply voltage ($\pm 5\%$)	$\pm 12 \dots 15$	V		
I_C	Current consumption	10 (@ $\pm 15 \text{ V}$) + I_S	mA		

Accuracy - Dynamic performance data

X	Accuracy @ I_{PN} , $T_A = 25^\circ\text{C}$	@ $\pm 15 \text{ V}$ ($\pm 5\%$)	± 0.65	%
		@ $\pm 12 \dots 15 \text{ V}$ ($\pm 5\%$)	± 0.90	%
ϵ_L	Linearity error		< 0.15	%
I_O	Offset current @ $I_p = 0$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	Typ	Max	
I_{OM}	Magnetic offset current ³⁾ @ $I_p = 0$ and specified R_M after an overload of $3 \times I_{PN}$		± 0.2	mA
			± 0.3	mA
I_{OT}	Temperature variation of I_O	- $25^\circ\text{C} \dots + 85^\circ\text{C}$	± 0.1	± 0.6
		- $40^\circ\text{C} \dots - 25^\circ\text{C}$	± 0.2	± 1.0
t_{10}	Reaction time to 10% of I_{PN} step		< 500	ns
t_9	Response time to 90% of I_{PN} step		< 1	μs
di/dt	di/dt accurately followed		> 200	A/ μs
BW	Frequency bandwidth (-1 dB)		DC .. 200	kHz

General data

T_A	Ambient operating temperature	- 40 .. + 85	$^\circ\text{C}$
T_S	Ambient storage temperature	- 40 .. + 90	$^\circ\text{C}$
R_S	Secondary coil resistance	@ $T_A = 70^\circ\text{C}$	80
		@ $T_A = 85^\circ\text{C}$	85
m	Mass	18	g
	Standards	EN 50178: 1997	

Notes: ¹⁾ Measuring range limited to $\pm 60 \text{ A}_{max}$
²⁾ Measuring range limited to $\pm 55 \text{ A}_{max}$
³⁾ Result of the coercive field of the magnetic circuit.

Features

- Closed loop (compensated) current transducer using the Hall effect
- Printed circuit board mounting
- Isolated plastic case recognized according to UL 94-V0.

Advantages

- Excellent accuracy
- Very good linearity
- Low temperature drift
- Optimized response time
- Wide frequency bandwidth
- No insertion losses
- High immunity to external interference
- Current overload capability.

Applications

- AC variable speed drives and servo motor drives
- Static converters for DC motor drives
- Battery supplied applications
- Uninterruptible Power Supplies (UPS)
- Switched Mode Power Supplies (SMPS)
- Power supplies for welding applications.

Application domain

- Industrial.



Current Transducer LA 55-P

Isolation characteristics

V_d	Rms voltage for AC isolation test, 50 Hz, 1 min	2.5	kV
\hat{V}_w	Impulse withstand voltage 1.2/50 μ s	5.7	kV
		Min	
dCp	Creepage distance	5	mm
dCl	Clearance distance	5	mm
CTI	Comparative Tracking Index (group IIIa)	175	

Applications examples

According to EN 50178 and IEC 61010-1 standards and following conditions:

- Over voltage category OV 3
- Pollution degree PD2
- Non-uniform field

	EN 50178	IEC 61010-1
dCp, dCl, \hat{V}_w	Rated isolation voltage	Nominal voltage
Single isolation	500 V	500 V
Reinforced isolation	250 V	250 V

Safety



This transducer must be used in electric/electronic equipment with respect to applicable standards and safety requirements in accordance with the manufacturer's operating instructions.



Caution, risk of electrical shock

When operating the transducer, certain parts of the module can carry hazardous voltage (eg. primary busbar, power supply).

Ignoring this warning can lead to injury and/or cause serious damage.

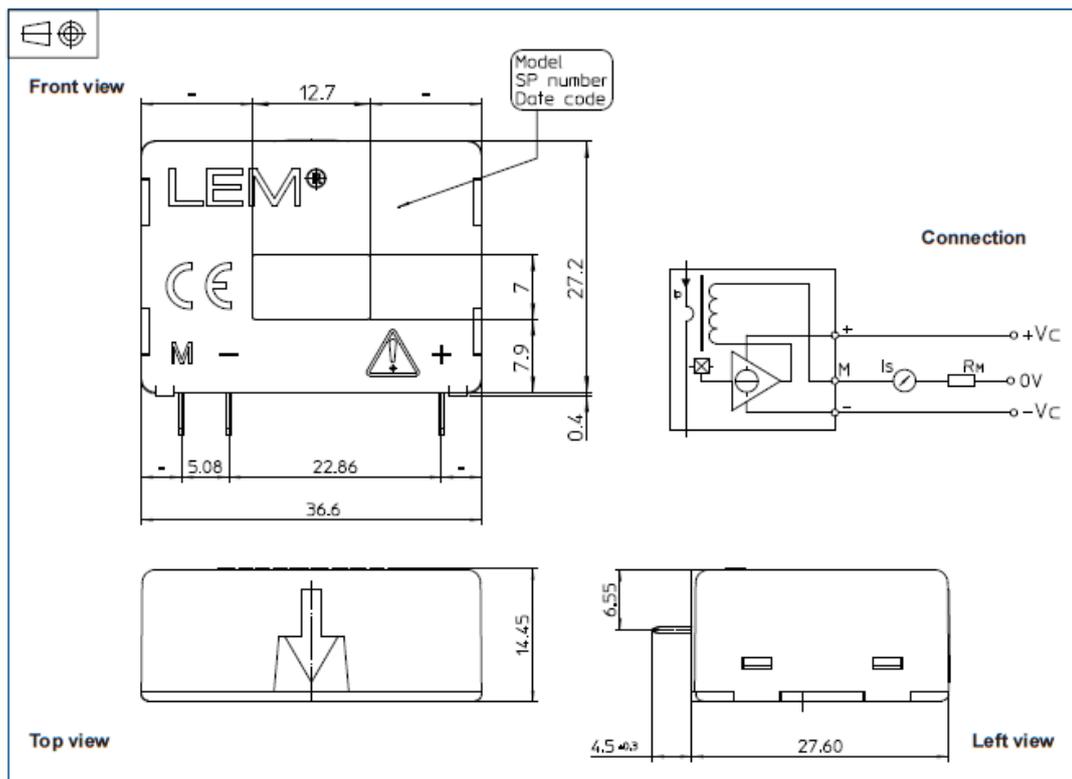
This transducer is a build-in device, whose conducting parts must be inaccessible after installation.

A protective housing or additional shield could be used.

Main supply must be able to be disconnected.



Dimensions LA 55-P (in mm. 1 mm = 0.0394 inch)



Mechanical characteristics

- General tolerance ± 0.2 mm
- Primary through-hole 12.7 x 7 mm
- Fastening & connection of secondary 3 pins
0.63 x 0.56 mm
- Recommended PCB hole 0.9 mm

Remarks

- I_s is positive when I_p flows in the direction of the arrow.
- Temperature of the primary conductor should not exceed 90°C.
- Dynamic performances (di/dt and response time) are best with a single bar completely filling the primary hole.
- In order to achieve the best magnetic coupling, the primary windings have to be wound over the top edge of the device.
- This is a standard model. For different versions (supply voltages, turns ratios, unidirectional measurements...), please contact us.

ANEXO C - Circuito Integrado LM324

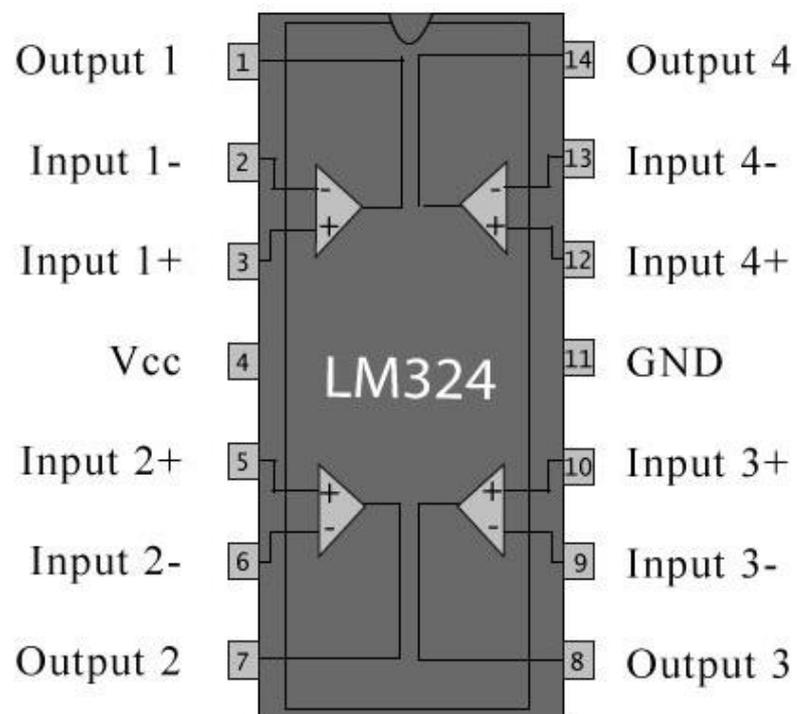


Figura 43 - LM324
Fonte: Engineers Garage

APÊNDICE A - Programação do Microcontrolador.

```

1  #include "DSP2802x_Device.h"    // DSP2802x Headerfile Include File
2  #include "DSP2802x_GlobalPrototypes.h" //Global function prototypes
3
4  void tempo(int k);
5  void convert(void);
6
7  // VARIÁVEIS
8  float voltage, current, power, sum_power, average_power, energy, energy_kW, Volt[100],Corr[100],Pow[100];
9  int inc, mult ,i, min;
10
11 void main(void)
12 {
13     // INICIALIZA SISTEMA DE CONTROLE:
14     // PLL, WatchDog, HABILITA CLOCKS PERIFERICOS
15     InitSysCtrl();
16
17     // DESABILITA AS INTERRUPÇÕES DO CPU
18     DINT;
19
20     // DESABILITA INTERRUPÇÕES DA CPU E LIMPA OS FLAGS
21     IER = 0x0000;
22     IFR = 0x0000;
23
24     // INICIALIZA GPIO:
25     InitGpio();
26
27     // NECESSÁRIO PARA A FLASH.
28     MemCopy(&RamfuncsLoadStart, &RamfuncsLoadEnd, &RamfuncsRunStart);
29     InitFlash();
30
31     // INICIALIZA OS REGISTRADORES DE CONTROLE.
32     InitPieCtrl();
33
34     // INICIALIZA TABELA DE VETORES
35     InitPieVectTable();
36
37     // INICIALIZA DISPOSITIVOS PERIFÉRICOS.
38     InitCpuTimers();
39
40     // CONFIGURA ADC
41     InitAdc(); //Ajusta registrador de controle
42     AdcOffsetSelfCal(); //Calibra o adc
43     EALLOW;
44     AdcRegs.ADCSOC0CTL.all = 0x246; //Canal ADC-B1
45     AdcRegs.ADCSOC1CTL.all = 0x386; //Canal ADC-B6
46     AdcRegs.INTSEL1N2.bit.INT1SEL = 0; //Conecta ADCINT1 para EOC0 (final da conversão)
47     AdcRegs.INTSEL1N2.bit.INT2SEL = 1; //Conecta ADCINT2 para EOC1
48     AdcRegs.INTSEL1N2.bit.INT1E = 1; //Habilita ADCINT1
49     AdcRegs.INTSEL1N2.bit.INT2E = 1; //Habilita ADCINT2
50     EDIS;
51
52     // Configura GPIO34 COMO UM PINO DE SAÍDA
53     EALLOW;
54     GpioCtrlRegs.GPBMUX1.bit.GPIO34 = 0;
55     GpioCtrlRegs.GPBDIR.bit.GPIO34 = 1;
56     EDIS;
57     GpioDataRegs.GPBSET.bit.GPIO34 = 1;
58
59     // CONFIGURA CPU Timer
60     ConfigCpuTimer(&CpuTimer0, 60, 1000); //temporização base de 1ms
61     ConfigCpuTimer(&CpuTimer1, 60, 141); //temporização para 100 amostragens de potência
62
63     // Temporiza
64     tempo(5000);
65
66     // IDLE loop.
67     mult = 0; //inicia "mult" em 0, "mult" corresponde ao tempo de leitura (1seg)
68     energy = 0; //inicializa "energy" em 0.
69
70     while(1)
71     {
72

```

Figura 44 - Programação do microcontrolador
Fonte: Autoria própria

```

69
70 while(1)
71
72 {
73     power = 0;
74     sum_power = 0;
75     for (inc = 0; inc < 100; inc++)
76     {
77         GpioDataRegs.GPBSET.bit.GPIO34 = 1; //apaga o led.//
78         // AQUISIÇÕES
79         //Força SOC0 para 1
80         AdcRegs.ADCSOCFR1.bit.SOC0 = 1;
81         //Espera o fim da conversão
82         while(AdcRegs.ADCINTFLG.bit.ADCINT1 == 0){} //Espera por ADCINT1
83         AdcRegs.ADCINTFLGCLR.bit.ADCINT1 = 1; //Limpa ADCINT1
84         voltage = (AdcResult.ADCRESULT0-2047.0)/4095.0*2.0*180.0; //Leitura de tensão
85         //Força SOC1 para 1
86         AdcRegs.ADCSOCFR1.bit.SOC1 = 1;
87         //Espera o fim da conversão
88         while(AdcRegs.ADCINTFLG.bit.ADCINT2 == 0){} //Espera por ADCINT2
89         AdcRegs.ADCINTFLGCLR.bit.ADCINT2 = 1; //Limpa ADCINT2
90         current = (AdcResult.ADCRESULT1-2047.0)/4095.0*20.0;
91         power = (voltage*current); //faz o calculo da potencia
92         sum_power = sum_power + power; //Soma dos 100 valores de potência li
93         convert();
94         Volt[inc] = voltage; //Vetor que armazena cada valor de te
95         Corr[inc] = current; //Vetor que armazena cada valor de co
96         Pow[inc] = power; //Vetor que armazena cada valor de po
97     }
98     GpioDataRegs.GPBCLEAR.bit.GPIO34 = 1; //acende led.
99     mult = mult + 1; //Corresponde ao tempo de medição.
100     average_power = sum_power / 100; //faz o calculo da potencia media.
101     energy = energy + average_power; //faz o calculo de energia em joule.
102     energy_kW = energy / 3600000; //faz o calculo de energia em kW/h.
103     tempo(983);
104 }
105 }
106
107 void tempo(int k)
108 {
109     while (k > 0)
110     {
111         CpuTimer0Regs.TCR.bit.TRB = 0;
112         CpuTimer0Regs.TCR.bit.TSS = 0;
113         while (CpuTimer0Regs.TCR.bit.TIF == 0);
114         CpuTimer0Regs.TCR.bit.TSS = 1;
115         CpuTimer0Regs.TCR.bit.TIF = 1;
116         k--;
117     }
118 }
119
120 void convert(void)
121 {
122     CpuTimer1Regs.TCR.bit.TRB = 0;
123     CpuTimer1Regs.TCR.bit.TSS = 0;
124     while (CpuTimer1Regs.TCR.bit.TIF == 0);
125     CpuTimer1Regs.TCR.bit.TSS = 1;
126     CpuTimer1Regs.TCR.bit.TIF = 1;
127 }
128

```

Figura 45 - Programação do microcontrolador
Fonte: Autoria própria